



**INTERNACIONALNI UNIVERZITET TRAVNIK U
TRAVNIKU**
FAKULTET POLITEHNIČKIH NAUKA
TRAVNIK U TRAVNIKU

ZAVRŠNI RAD
**RELEJNE ZAŠTITE ZA VISOKONAPONSKE
MOTORE**

Mentor:
Prof.dr.sc Miladin Jurošević

Student:
Zahid Pašanović

Travnik, 2019.



**INTERNACIONALNI UNIVERZITET TRAVNIK U
TRAVNIKU**
FAKULTET POLITEHNIČKIH NAUKA
TRAVNIK U TRAVNIKU

ZAVRŠNI RAD
**RELEJNE ZAŠTITE ZA VISOKONAPONSKE
MOTORE**

Mentor:
Prof.dr.sc Miladin Jurošević

Student:
Zahid Pašanović

Travnik, 2019.

Sadržaj

UVOD.....	5
1. RELEJNA ZAŠTITA	6
1.1. Zaštitni reljini uređaji.....	6
1.2. Osnovni zahtjevi koji se postavljaju pred reljnu zaštitu	8
1.3. Razvitak tehnike reljne zaštite	10
2. ZAŠTITNI RELEJI	11
2.1. Strujni releji	11
2.1.1. Primarni okidač	12
2.2. Prekostrujni sekundarni releji	13
2.3. Diferencijalni releji.....	13
2.4. Releji simetričnih komponenata struje	14
2.5. Naponski releji.....	15
2.6. Učinski releji	17
2.7. Distantni releji	18
2.7.1. Sastav i djelovanje distantnih releja	19
2.8. Frekventni releji.....	21
2.9. Releji s mehaničkom rezonancijom.....	22
2.9.1. Releji s električnom rezonancijom	23
3. ZAŠTITA TRANSFORMATORA	23
3.1. Kvarovi i nenormalna stanja u pogovnu transformatora	23
3.2. Diferencijalna zaštita transformatora.....	24
3.3. Buchholzova zaštita.....	26
3.4. Momentalna prekostrujna zaštita.....	28
3.5. Zaštita od preopterećenja (prekomjernog zagrijavanja)	29
3.6. Prekostrujna zaštita (zaštita od vanjskih kratkih spojeva).....	30
3.7. Zaštita regulacionog prekidača	31
3.8. Izbor zaštite transformatora	31
4. ZAŠTITA ELEKTRIČNIH MREŽA VISOKOG NAPONA	31
4.1. Kvarovi i nenormalna stanja u pogonu električnih mreža	31
4.2. Prekostrujna zaštita.....	32
4.3. Distantna zaštita.....	33
4.4. Uzdužna diferencijalna zaštita.....	37
5. ZAŠTITA ELEKTROMOTORA	40

5.1. Kvarovi nenormalna stanja u pogonu elektromotora	40
5.2. Zaštita od kratkih spojeva.....	40
5.3. Zaštita od zemljospojeva statorskog namotaja	41
5.4. Zaštita motora od preopterećenja	41
5.5. Princip rada elektromotora	42
5.6. Podjela elektromotora.....	44
5.6.1. Elektromotori istosmijerne struje	45
5.6.2. Princip rada istosmijernog elektromotora.....	45
5.6.3. Elektromotori izmjenične struje	46
5.6.4. Princip rada asinhronog elektromotora.....	46
5.6.5. Sinhroni elektromotori.....	47
ZAKLJUČAK.....	49
LITERATURA	50
POPIS SLIKA	51

UVOD

Zaštitni uređaji elektroenergetskih postrojenja obuhvataju uređaje u postrojenjima za proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije koji imaju zadatak da upozore na nenormalne režime rada pojedinih elemenata elektroenergetskih sistema, a u slučaju pojave kvarova svojim djelovanjem brzo isključe oštećeni elemenat i na taj način smanje razaranje i negativni uticaj kvara na rad elektroenergetskog sistema.

Električna energija predstavlja osnovni vid energije i preduslov razvoja privrede svake zemlje. S ciljem da se obezbjede dovoljne količine električne energije potrošačima svih kategorija, potrebno je izgraditi mnoge hidro, termo ili nuklearne elektrane, povezati ih hiljadama kilometara visokonaponskih dalekovoda s potrošačkim područjima i putem transformatorskih stanica i distributivne mreže srednjeg i niskog napona dovesti energiju svakom potrošaču.

S ciljem da se obezbjedi neprekinutost u napajanju i proizvodnji električne energije uz što je moguće manje troškove, elektrane, prenosna mreža i transformatorske stanice povezuju se u jedinstven elektroenergetski sistem, kako unutar manjih regija tako i unutar država pa i između više država.

Savremeni razvoj društva, industrije i privrede uopšte baziran je na električnoj energiji. Osnovni zahtjev, pored dovoljnih količina raspoložive energije i kvalitetnog napona, je neprekinutost u napajanju. U savremenoj industriji i kratkotrajni prekidi u napajanju mogu izazvati dugotrajne zastoje u proizvodnji i velike materijalne štete.

1. RELEJNA ZAŠTITA

Releji su sklopni aparati koji se aktiviraju od jedne ili više električnih veličina kao što su (napon, struja, snaga). Svi releji se uključuju preko više vrsta kontakata i osnovni im je zadatak da preko svojih kontakata i pomoćnih strujnih krugova djeluju na druge uređaje radi upravljanja, mjerjenja, signalizacije, zaštite nekih postrojenja. Relejne kontakte pomiče namot elektromagnetskom silom. Relej može djelovati neispravno ako postoji kvar na njemu samome. Vjerovatnoća kvara releja unutar godinu dana je također veoma mala tako da možemo zaključiti da su releji veoma pouzdani uređaji.

Releje možemo podjeliti po funkciji pa tako imamo releje koji mogu biti opće upotrebe automobilski, telefonski, telegrafski, frekventni, induksijski, strujni, strujno – naponski. Dijelovi releja su: namot releja, jaram na sebi drži elektromagnet, koji privlači željeznu kotvu. Kotva uspostavlja ili prekida set električnih kontakata, a vraća se u polazni položaj uz pomoć opruge, kad kroz elektromagnet više ne teče struja. Namot releja spojen je u upravljačkom strujnom krugu. Strujni krug s relejom čine dva neovisna strujna kruga:

- Upravljački krug s upravljačkom strujom,
- Ukljupni krug sa radnom strujom.

1.1. Zaštitni reljni uređaji

Osnovni element zaštitnih uređaja je relek. To je uređaj koji kod unaprijed određene kontrolirane veličine izaziva naglu promjenu u jednom ili više signalnih ili komandnih strujnih krugova. Kontrolirana veličina može da bude električna struja, napon, snaga, otpor, frekvencija ili neelektrična temperatura, pritisak, brzina strujanja. Nagla promjena u komandnim ili signalnim krugovima, kad kontrolirana veličina premaši određenu vrijednost, očituje se obično u zatvaranju ili otvaranju kontakata, putem kojih se daju potrebne komande ili se uključuju signalni releji. Kod bezkontaktnih releja transduktori, tranzistori, elektronske cijevi efekat je isti kao i kod releja s kontaktima, tj. kad kontrolirana veličina premaši podešenu vrijednost dešava se bitna promjena stanja u krugu na koji relek djeluje.

Da bi relek mogao da ispravno djeluje potrebno je da ima:

- Mjerni organ/ pogonski sistem koji prati promjene kontrolirane veličine primjer promjena struje. Ove promjene u odgovarajućem obliku, većinom u obliku mehaničke sile i zakretnog momenta, prenosi na organ za usporedbu.
- Organ za usporedbu/ sistem za protumomenat upoređuje transformiranu kontroliranu veličinu pogonski momenat sa podešenom veličinom protumomentom. Kad kontrolirana veličina premaši podešenu vrijednost tj. kad pogonski momenat postane veći od protumomenta, dolazi do aktiviranja izvršnog organa.
- Izvršni organ svojim aktiviranjem izaziva momentalno, ili nakon izvjesnog vremenskog zatezanja, naglu promjnu u komandnim ili normalnim strujnim krugovima spajanjem ili prekidanjem strujnog kruga. Izvršni organ se obično

sastoji od sistema za vremensko zatezanje djelovanja, od sistema za amortizaciju hoda pokretnih dijelova i od kontaktnog sistema.

Postoji mnogo načina klasifikacije zaštitnih relja. Prema principu djelovanja pogonskog sistema razlikuju se:

- Elektromagnetski ili feromagnetski releji rade na principu djelovanja magnetskog toka svitka protjeranog strujom na feromagnetski dio (pomičnu jezgru ili kotvu).
- Indukcioni releji djeluju na osnovu uzajamnog djelovanja promjenljivih magnetskih tokova svitka protjeranih strujom i struja induciranih od ovih tokova u okretnim bakrenim ili aluminijskim diskovima ili bubenjičima.
- Elektrodinamski releji djeluju na osnovu uzajamnog djelovanja magnetskih tokova pomičnog i nepomičnog svitka protjeranih strujom.
- Magnetoelektrični releji djeluju na osnovu uzajamnog djelovanja magnetskog toka permanentnog magneta i toka svitka protjeranog strujom.
- Polarizacioni releji djeluju na osnovu zajedničkog djelovanja magnetskog toka svitka protjecanog strujom i toka permanentnog magneta na feromagnetski dio (kotva).
- Termički releji djeluju na osnovu savijanja bimetalne trake, istezanja materijala ili drugih pojava kod promjene temperature.

Prema vrsti kontrolirane veličine razlikuju se:

- Strujni releji koji djeluju kad struja premaši određenu vrijednost,
- Naponski releji koji djeluju kad napon premaši (nadnaponski) ili kad padne ispod određene vrijednosti (podnaponski),
- Učinski releji djeluju na smjer snage (releji smijera) ili na njenu veličinu (releji snage),
- Otporni releji djeluju kad kontrolirani otpor štićenog objekta (većinom dalekovoda) padne ispod podešene vrijednosti,
- Frekventni releji djeluju kad frekvencija padne ispod podešene vrijednosti ili ih premaši.
- Termički releji djeluju kad temperatura štićenog objekta poraste iznad podešene vrijednosti.
- Mehanički releji djeluju kad mehanička veličina (pritisak, brzina strujanja, broj okretanja, prestanak protoka) premaši ili padne ispod određene vrijednosti.

Prema priključku relja na kontroliranu veličinu releji se dijele na primarne i sekundarne.

- Primarni releji priključuju se direktno na puni iznos kontrolisane veličine.
- Sekundarni releji priključuju se na reducirane sekundarne struje i napone putem mjernih transformatora.

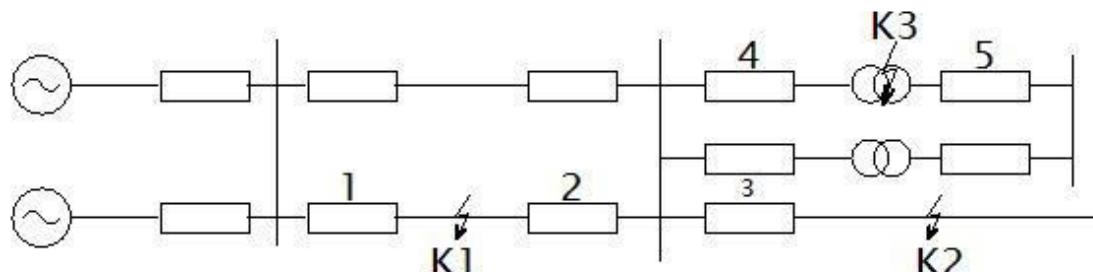
Posebnu vrstu releja predstavljaju vremenski releji i pomoćni releji. Oni ne djeluju na pojedine električne ili mehaničke veličine koje se pojavljuju kod kvarova, nego služe kao pomoćni elementi u relejnim uređajima.

- Vremenski releji imaju zadatak da uspore djelovanje zaštitnog uređaja kad je to potrebno zbog postizanja selektivnosti ili izbjegavanja nepotrebnog djelovanja kod kratkotrajnih i neopisanih porasta kontrolirane veličine.
- Pomoćni releji upotrebljavaju se za pojačanje slabih impulsa koje daju precizni releji koji nisu u stanju da direktno djeluju na izvršenje potrebnih komandi, za istovremeno komandovanje sa više nezavisnih strujnih krugova i za druge pomoćne svrhe.

1.2. Osnovni zahtjevi koji se postavljaju pred relejnu zaštitu

Osnovni zahtjevi koji se postavljaju pred relejnu zaštitu su: selektivnost, brzina, visoka osjetljivost i sigurnost u radu.

Selektivnost je karakteristika zaštite da kod kvara automatski isključuje iz pogona samo onaj dio koji je u kvaru, dok ostali dio mreže, ostaje normalno u pogonu. Na taj način kvar ili uopće ne utiče na normalno snabdijevanje, ili zbog kvara ostaje bez napona minimalno potreban broj potrošača. Na slici 1. Prikazano je nekoliko primjera selektivnog djelovanja zaštite.



Slika 1. Selektivno djelovanje zaštite

Kod kvara K1 treba da djeluju samo zaštite na mjestima 1 i 2. One isključuju oštećeni vod i svi potrošači ostaju u pogonu jer se snabdijevaju putem drugog voda. Kod kvara na mjestu K2 treba da djeluje samo zaštitna 3. Na taj način ostaju u pogonu svi potrošači izuzev onih na oštećenom vodu. U slučaju kvara u transformatoru (K3) treba da djeluje samo zaštitna 4 i 5, tako da se potrošači i dalje napajaju putem drugog, paralelnog transformatora.

Prema tome općenito možemo reći da zaštita djeluje selektivno ukoliko isključi prekidače najbliže mjestu kvara. Neselektivna djelovanja zaštite, imaju za posljedicu nepotrebne ispadne iz pogona velikih potrošačkih područja i negativno se održavaju u pogonu elektroenergetskog sistema.

Brzina djelovanja zaštite naročito je važna kod kratkih spojeva, osobito kod trofaznih. Brzim isključenjem kratkog spoja smanjuje se obim razaranja na mjestu kvara, pad napona

zbog kratkog spoja traje samo kratko vrijeme i izbjegava se gubitak stabilnosti sistema. S obzirom na zahtjeve poželjno bi bilo praktički momentalno djelovanje zaštite. Zbog toga se potrebna brzina određuje prema stvarnim potrebama za pojedine konkretnе slučajeve.

Na opadanje napona kod kratkih spojeva najosjetljiviji su asinhroni motori. Maksimalni momenat opada sa napona, tako da kod dužeg trajanja i niskih napona može da dođe do jakog kočenja ili čak zaustavljanja asinhronih motora ukoliko ih podnaponska zaštita ne bi prethodno isključila iz pogona. Zbog toga se zahtijeva, da se kratki spojevi kod kojih dolazi do jakih sniženja napona isključuju u vremenu kračem od 0,5 sek. Ukoliko kratki spoj ne izaziva jaki pad napona, brzina djelovanja može da bude manja (1-2sek.).

Mnogo oštriji zahtjevi postavljaju se na brzinu djelovanja sa gledišta stabilnosti sistema. Kod kratkog spoja, naročito trofaznog, jedan dio generatora u mreži se rasterećuje a drugi dio se optereti prekomjerno. To ima za posljedicu ubrzanje rotora jednih a usporenje drugih generatora. Što je djelovanje zaštite brže to će relativan pomak rotora biti manji i to će biti manja opasnost od ispadanja elektrana iz sinhronizma. Stabilnost sistema ovisi o nizu faktora (visine napona, veličine otpora između elektrana, o uglu pomaka između EMS generatora koji rade paralelno prije pojave kvara, o brzini regulatora napona). Ispitivanja su pokazala da je kod naglog sniženja napona na sabirnicama elektrane potrebno vrijeme isključenja kvara rada 0,2 - 0,3 sek. da generatori ne bi ispali iz sinhronizma. Minimalno potrebno vrijeme isključenja određuju se na osnovu detaljnijih analiza stabilnosti konkretnih elektroenergetskih sistema.

Vrijeme isključenja kvara sastoji se od vremena djelovanja zaštite i od vremena djelovanja prekidača koji isključuje kratki spoj. Vrijeme djelovanja prekidača iznosi oko 0,15 - 0,1 sek, a savremenim brzi prekidači prekidaju struju kratkog spoja i u vremenu 0,05 - 0,08 sek. Prema tome brzi zaštitni uređaji treba da djeluju u vremenu od oko 0,05 - 0,1 sek. Kod savremenih naročito brzih releja postignuta su vremena djelovanja od 0,02 - 0,04 sek. naravno na račun znatnog poskupljenja takvih releja.

Kod pojedinih vrsta kvarova, a naročito kod stanja neopasnih za normalan rad ne postavlja se zahtjev za brzim isključenjem. Ono bi negdje moglo da bude čak i nepoželjno, tako da se u takvim slučajevima upotrebljavaju dodatni vremenski releji koji usporavaju djelovanje zaštite, tako da ona djeluje sa vremenskim zatezanjem 0,5 - 10 sek.

Osjetljivost je važna karakteristika zaštitnih uređaja. Zaštitni uređaj treba da bude dovoljno osjetljiv da sa sigurnošću djeluje kod kvarova u zoni djelovanja zaštite, i to i kod najnepovoljnijih uslova. Prenosnim dalekovodima prenose se na primjer velike količine električne energije na vrlo velike udaljenosti. Kod kratkog spoja na kraju ovako dugog dalekovoda, naročito u vrijeme kad se u sistemu nalazi u pogonu minimalan broj elektrana, struja kratkog spoja može da bude manja od maksimalne pogonske struje. Kod kratkih spojeva putem visokih prelaznih otpora također se smanjuje struja kratkog spoja. Pojedine vrste kvarova ne pojavljuju se odmah u svom punom obimu a ipak su opasne za štićeni uređaj. Zaštitni uređaji u svim slučajevima treba da budu toliko osjetljivi da sigurno djeluju kod pojave kvara u svim mogućim uslovima, a da ne djeluju nepotrebno zbog nekih drugih

uticaja. Postizanje dovoljne osjetljivosti zaštite predstavlja ponekad složen problem jer je paralelno sa osjetljivošću zahtjeva da zaštita djeluje selektivno, brzo i sigurno.

Sigurnost u radu je jedna od najvažnijih karakteristika zaštitnih uređaja. Postavlja se zahtjev da zaštita mora djelovati 100% sigurno u slučaju pojave kvara na koji je osjetljiva ako se on desi u štićenoj zoni. Jedno jedino zatajenje djelovanja u slučaju kvara može da ima katastrofalne posljedice za štićeni objekat i da izazove nepotrebne poremećaje u radu sistema. S druge strane postavlja se zahtjev da zaštita ne djeluje u slučaju kvara za koji nije predviđen, ili u slučaju pojave kvara van predviđene zone djelovanja.

Postizanje potpuno sigurnog rada otežava činjenica da zaštitni uređaji miruju mjesecima i godinama, a u svakom momentu mora da budu spremni da rade punom osjetljivošću, preciznošću i brzinom. Da bi se obezbijedio siguran rad zaštite potrebno je :

- releji od kojih se sastoji reljni uređaj treba da su što jednostavniji i što kvalitetnije izrade,
- spoj zaštitnog uređaja treba da bude što jednostavniji i sa što manjim brojem releja i kontakata,
- konstrukcija i izvedba releja treba da je takva da na njegov rad što manje utiču vanjski faktori (mehanički, termički, hemijski, električni).

Osim toga u tehnici reljne zaštite primjenjuje se uvijek princip rezerve, za slučaj da ipak zataji zaštita ili prekidač najbliži mjestu kvara. U tom slučaju treba da djeluje slijedeća zaštita, to jest zaštita udaljenija od mjesta kvara. Time se nepotrebno isključuje iz pogona izvjestan dio zdrave mreže ali kvar bude isključen i situacija se brzo normalizuje.

1.3. Razvitak tehnike reljne zaštite

Tehnika reljne zaštitne električnih mreža i postrojenja razvijala se je paralelno s općim razvitkom elektroenergetike, koje je pred nju postavljao, i danas postavlja, sve složenije zadatke. Nagli razvoj nisko i visokonaponskih mreža, izgradnja velikih elektrana i transformatorskih stanica te razvitak industrije osjetljive na prekide u snabdijevanju električnom energijom, postavili su pred tehniku reljne zaštite zadatak da izradi uređaje koji će momentalno lokalizirati i selektivno isključiti svaki kvar, pa na gdje se on, i u bilo kakvom obliku, pojavio, i koji će isključivati pojedine elemente postrojenja i slučaju opasnih pogonskih stanja. U naporima da se što više poboljša kvalitet električne energije i da se osigura neprekinutost u snabdijevanju potrošača električne energije, reljna zaštita dobila je centralno mjesto u kompleksu automatizacije elektroenergetskih postrojanja.

U vrijeme dok su električne mreže bile sasvim male i jednostavne, zadovoljavalo se je sa osiguračima, i to samo na generatorima. S porastom opterećenja i razvitkom mreža rasle su i struje kratkog spoja, tako da se je došlo do snaga koje osigurači nisu više mogli sigurno da prekinu. Pronađen je okidač, elektromagnet, koji je kod nedozvoljenog porasta struje privukao kvotu i na taj način djelovao na isključenje prekidača. Što su mreže

postajale razgranatije pojavljivala se je potreba da se isključuje samo dio mreže koji je u kvaru, a ne generator koji napaja cijelo područje. To je bio početak reljne zaštite. Odmah u početku pokazala se je potreba za zaštitom koja će isključivati mjesto najbliže mjestu kvara. U početku je ovakovo djelovanje postizano osiguračima različite debljine. Uvijek je najprije pregarao osigurač najbliži mjestu kvara. Kod viših napona i velikih snaga kratkog spoja, koje su se pojavile sa razvitkom elektroenergetike, osigurači nisu više zadovoljavali jer nisu bili u stanju da prekidaju tako velike snage. Okidač je, u ovisnosti o veličini struje kvara, djelovao na mehanizam za isključenje prekidača. Kasnije je izrađen prvi relj, tj. elektromagnet koji je električki djelovao na isključenje prekidača. Dalji razvitak kretao se je u smjeru izrade sve preciznijih, osjetljivijih i sigurnijih releja.

Prvi kriterij mjerodavan za proradu releja bila je struja (nadstrujni relj i napon/naponski relj). Kasnije su izrađeni releji koji su djelovali u međusobnoj ovisnosti napona i struje. To su bili vatmetarski releji koji su, osim na veličinu struje reagirali i na njezin smjer. Dalnjim razvitkom električnih mreža visokog napona ni ovakovi releji nisu mogli zadovoljiti svim zahtjevima. Razvijeni su razni otpori ili distantni releji, priključeni na struje i napone. Vrijeme djelovanja ovih releja ovisilo je o udaljenosti kvara od mjesta ugradnje releja. Što je kvar bliži relj je djelovao brže. Razvijen je osim toga niz specijalnih releja za zaštitu svih elemenata elektroenergetskog sistema. Paralelno sa razvitkom zaštite električnih mreža tekao je i razvoj reljne zaštite generatora transformatora, motora i dr.

Nagli razvitak elektroenergetike u posljednje vrijeme postavljao je sve oštije zahtjeve pred tehniku reljne zaštite. Ogromne struje kratkih spojeva u velikim povezanim elektroenergetskim sistemima, mreže vrlo visokih napona i problemi stabilnosti kod kvarova zahtjevaju vrlo precizne, osjetljive i izvanredno brze releje. Rješavajući tražene zahtjeve tehnika reljne zaštite izrasla je u posebnu granu elektrotehnike, koja obuhvaća niz problema i ulazi u niz srodnih područja kao što su : prenos električne energije, električna postrojenja, tehnika mjerjenja električnih veličina, tehnologija elektromaterijala, precizna mehanika, visokofrekventna tehnika itd. Početak razvitka reljne zaštite pada u vrijeme oko 1900 godine. Period 1930-1940. godine je vrijeme naročito brzog progresa reljne zaštite. Karakterističan je prelazom od sporijih releja i prekidača na brže, prelazom od grubljih na vrlo osjetljive vrste zaštita i sve jačim uvođenjem automatizacije u elektroenergetska postrojenja i povezivanjem reljne zaštite sa automatikom i daljinskim upravljanjem. Danas se tehnika reljne zaštite može da smatra specijalnom granom elektrotehnike sa vrlo opsežnom i složenom problematikom, koja ima važno mjesto u eksplotaciji elektroenergetskih postrojenja.

2. ZAŠTITNI RELEJI

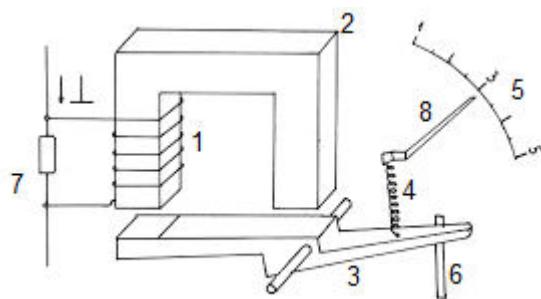
2.1. Strujni releji

Zaštitni uređaji koji djeluju na povećanje struje su najrasprostranjeniji, jer je većina kvarova u elektroenergetskim postrojenjima praćena porastom struje. Mogu se podjeliti na sljedeće grupe:

1. Primarni prekostrujni okidači djeluju mehanički na isključenje prekidača kad primarna struja, koja teče kroz njihov namotaj premaši podešenu vrijednost.
2. Prekostrujni sekundarni releji (nadstrujni, maksimalni strjni releji) djeluju kad sekundarna struja na koju su priključeni premaši podešenu vrijednost.
3. Diferencijalni releji djeluju kad razlika dviju ili više struja premaši podešenu vrijednost. U normalnom pogonu ova struja je jednaka nuli.
4. Releji simetričnih komponenata struje, osjetljivi na pojavu nulte ili inverzne komponente struje, koje su u normalnom pogonu jednake nuli, a javljaju se kod zemljospojeva ili nesimetričnih kvarova.

2.1.1. Primarni okidač

Na slici 2. Prikazana je najjednostavnija izvedba primarnog okidača.



Slika 2. Primarni okidač¹

Kroz namotaj (1) na lameniranoj željeznoj jezgri (2) prolazi ukupna primarna struja I , stvarajući elektromagnetsku silu koja nastoji da privuče kotvu (3) i putem poluge (6) isključi prekidač. Protiv ove sile djeluje sila opruge (4) koja može da mijenja kazaljkom (5). Skala kazaljke izbaždarena je u [A] ili u mnogokratnicima nominalne struje. Otpornik (7) izrađen od naponskih ovisnog otpora, služi za sprječavanje refleksije prenaponskih talasa, koji mogu da dođu sa voda, na relativno velikom indupcionom otporu namotaja. Kad struja premaši podešenu granicu kotva okidača isključuje momentalno prekidač. Prednost upotrebe primarnih okidača je što je rješenje vrlo jednostavno jer se okidač isporučuje zajedno s prekidačem, nisu potrebni dodatni uređaji i izvori pomoćnog napona, zaštita je sigurna i pogodnim izborom vrste okidača mogu se postići željene karakteristike djelovanja. Nedostatak je što se okidač za vrijeme pogona nalazi pod punim naponom. Primarni okidači našli su široku primjenu za zaštitu od preopterećenja i kratkih spojeva transformatora i dalekovoda u postrojenjima do uključivo 35kV. U slučaju kad se postavljaju veći zahtjevi u pogledu zaštite upotrebljavaju se sekundarni zaštitni releji.

¹ https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQTwulqr_zelTBcpTtx-KWDkN3SERdCX522mnIZupQm3rYWgcUL

2.2. Prekostrujni sekundarni releji

Sekundarni releji našli su mnogo širu primjenu u zaštiti elektroenergetskih postrojenja naročito kod postrojenja viših napona i kod zaštita koje zahtijevaju vrlo tačne, osjetljive i komplikirane releje. Za razliku od primarnih, priključuju se na sekundarnu stranu strujnih transformatora, kod djelovanja zatvaraju svoje kontakte i na taj način električnim putem izvršavaju potrebne radnje (isključenja, signalizacije, uključenja). Zbog toga je potrebno da pogonski sistem releja razvija neuporedivo manju snagu, potrebnu samo za otvaranje ili zatvaranje svojih kontakata. Pošto su priključeni na sekundarnu stranu mjernih transformatora nisu izloženi ni tako velikim dinamičkim i termičkim naprezanjima. Zbog toga se mogu izvesti dovoljno preciznotako mogu da zadovolje sve zahtjeve u pogledu osjetljivosti, tačnosti i komplikiranosti djelovanja. Sekundarni releji mogu se ispitivati, podešavati i zamjenjivati za vrijeme normalnog pogona štičenog objekta jer su montirani odvojeno od prekidača i ne nalaze se pod visokim naponom. Zbog potrebnih struja i napona ispitani uređaji nisu glomazni i lako se priključuju na ispitivani relez. Kao nedostatak mogla bi se navesti komplikiranost i potreba da u postrojenjima postoji pomoćni izvor napona za izvršavanje komandi koje daju zaštitni uređaji.

Prekostrujni releji se najčešće upotrebljavaju u zaštitnoj tehnici. Upotrebljavaju se za zaštitu generatora, transformatora, dalekovoda i odvoda do potrošača od nedozvoljeno velikih struja preopterećenja i kratkih spojeva. Zadatak im je da u slučaju kratkog spoja isključe minimalno potrebnu dionicu mreže a u slučaju preopterećenja da isključe štičeni objekat. Osnovni zadatak kod prekostrujnih releja je sigurnost u radu i selektivnost djelovanja. Da bi se mogli što bolje da prilagode štičenom objektu treba da imaju dovoljno široke mogućnosti podešavanja proradnih struja.

Prekostrujni releji sa vremenskim zatezanjem treba da imaju što tačniji i vrlo siguran usporni sistem, kako bi se omogućilo stepenovanje sa malim vremenskim stepenima i izbjeglo pogrešno djelovanje zaštite.

2.3. Diferencijalni releji

Diferencijalni releji su zaštitni releji, koji upoređuju istovrsne i istovremene veličine i mjere njihovu razliku. Spoj diferencijalnog releta je takav da u normalnom pogonu kroz relet ne protiče nikakva struja, dok u slučaju kvara kroz relet protiče dovoljno velika struja, tako da se diferencijalni relet uzbudi i daje impuls za isklapanje sklopke.

Diferencijalni releji mogu biti:

- uzdužni, ako upoređuju i mjere struje na početku i na kraju štičenog dijela postrojenja
- poprečni, ako na istom kraju upoređuju i mjere struje u dva ili više vodova

Danas se praktično upotrebljavaju samo uzdužni diferencijalni releji za zaštitu transformatora i generatora. Diferencijalni releji se priključuju na sekundarne strane strujnih transformatora. Dio postrojenja između strujnih transformatora nazivaju se štičenim dijelom. Diferencijalni relj mora djelovati i dati impuls za isklapanje sklopke ako se u štičenom dijelu pojavi kvar (najčešće kratak spoj) i ne smije djelovati ako se kvar dogodi van štičenog područja, ma kakve bile struje kvara. Diferencijalna zaštita se uvijek izvodi tropolno. Diferencijalni relj će okinuti kod kratkih spojeva u štičenom području i to bez obzira da li je kratki spoj napajan s jedne ili s obije strane. Diferencijalni relj neće, međutim, okinuti ako kvara uopće nema ili ako se desio izvanštičenog dijela. Ipak, moguće je da diferencijalni relj okine i u slučajevima uslijed tako zvanih krivih struja, koje nastaju ako strujni transformatori na koje je priključen diferencijalni relj imaju različite strujne i ugaone greške. Krive struje postoje i u normalnom pogonu, ali su neznatne i tek kod struja kvara, koji se dogodio izvan štičenog dijela, postaju velike, tako da mogu dovesti do djelovanja diferencijalnog relja i okidanja sklopke. Diferencijalni releji, koji se ne mogu oduprijeti okidanju uzbog krivih struja, nazivaju se nestabilizirani diferencijalni releji. Proradna struja diferencijalnog relja se podešava od 30 do 50% nominalne sekundarne struje što za 5A sekundarne struje iznosi 1,5 do 2,5A.



Slika 3. Diferencijalni relj²

2.4. Releji simetričnih komponenata struje

Releji simetričnih komponenata struje upotrebljavaju se u zaštitama koje treba da su vrlo osjetljive na određenu vrstu kvara prijumejer na male zemljospojne struje u mrežama s izoliranim ili kompenziranim zvjezdastim, na simetrično opterećenje, a da pri tome ne budu osjetljive kod ostalih vrsta kvarova. Od običnih prekostrujnih releja razlikuju se u sljedećem:

- u normalnim pogonskim uslovima i nulta i inverzna struja i naponi su jednake nuli tako da kroz relj ne teče struja,
- struje kvara koje teku kroz relj su redovito vrlo male, često reda nekoliko desetaka miliampera, tako da se zahtijevaju vrlo osjetljivi releji,

² <https://5.imimg.com/data5/MA/PE/MY-23213528/differential-relay-500x500.jpg>

- uz releje su potrebni dodatni elementi za postizanje nulte ili inverzne komponente koji čine relj neosjetljivim na više harmoničke komponente.

2.5. Naponski releji

Naponski releji djeluju kad napon na koji su priključeni odstupi od određene, unaprijed podešene vrijednosti. U ovisnosti da li djeluju kod povišenja ili sniženja napona dijele se na nadnaponske i podnaponske releje.

Nadnaponski releji djeluju kad kontrolirani napon premaši podešenu vrijednost. Upotrebljavaju se : za zaštitu od djelovanja previšog napona (primjer: nadnaponska zaštita generatora), za signalizacije stanja praćenih pojavom napona nulte komponente (primjer: signalizacija zemljospoja u mrežama s izoliranim ili kompenziranim zvjezdastim) i kao pomoćni releji. U principu se ne razlikuju od nadstrujnih releja. Pošto se priključuju paralelnom naponu, a ne u seriju kao strujni releji, potrebno je da im otpor bude što veći. Ako se grubo uzme da je impedanca proporcionalna kvadratu broja zavoja može se broj zavoja promjer žice izraziti kao :

$$N_N = N_S \sqrt{\frac{Z_N}{Z_S}}, \quad d_N = d_S \sqrt{\frac{Z_S}{Z_N}} \quad (1)$$

Prema tome naponski releji su ustvari strujni releji sa velikim brojem zavoja tanke žice. Ako proradna struja takvog releja iznosi I_{pr} (reda nekoliko stotinki ampera) proradni napon će biti:

$$U_{pr} = I_{pr} \cdot Z_N \quad (2)$$

Skala naponskih releja izbaždarena je prema gornjoj jednačini direktno u voltima.

Pošto naponski relj prorađuje ustvari kod određene struje P_r' a izbaždaren je u voltima , impedance Z_N mora da bude konstantna da ne ovisi o promjenama temperature okoline i o promjeni frekvencije. Impedanca Z_N može se izraziti kao:

$$Z_N = \sqrt{R_o(1 + \alpha v)^2 + (2\pi f L)^2} \quad (3)$$

gdje je R_o - otpor namotaja kod $20^\circ C$

α - temperaturni koeficijent otpora $^\circ C^{-1}$

v - razlika temperature u odnosu na $20^\circ C$

L - induktivitet namotaja relja.

Neovisnost o frekvenciji i o temperaturi postiže se na taj način da se namotaj relja dimenzionira za mali proradni napon (mali L), a u seriju s namotajem priključi se predotpor izrađen od žice s neznatnim temperaturnim koeficijentom otpora, na kojima se

dobije potreban pad napona ili se namotaj izvodi od specijalne žice velikog otpora. Podnaponski releji djeluju kad napon nestane ili padne ispod podešene vrijednosti. Upotrebljava se za zaštitu od smanjenja ili nestanka napona kod motornih i drugih pogona osjetljivih na nestanak ili pad napona. Upotrebljavaju se i kao elementi komplikiranijih reljnih uređaja. Od nadnaponskih releja razlikuju se jedino položajem kontakata.

Proradni napon ko podnaponskih releja je ondaj maksimalni napon kod kojeg relj otpusti kotvu kod smanjenjivanja napona, a povratni napon je minimalna vrijednost napona kod koje relj ponovo privuče kotvu kod porasta napona. Omjer otpuštanja biće kod podnaponskih releja veći od jedan.

$$a = \frac{U_{pov}}{U_{pr}} > 1 \quad (4)$$

Naponski releji izvode se sa elektromagnetskim pogonskim sistemom, indupcionim pogonskim sistemom sa okretnim diskom, a u kombinaciji sa ispravljačima i sa magnetoelektričkim pogonskim sistemom. Ako se zahtijeva momentalno djelovanje upotrebljavaju se elektromagnetski releji sa preklopnom ili zakretnom kvotom. Naponski neovisna vremenska karakteristika postiže se dodatkom vremenskog releja. Naponski ovisna vremenska karakteristika postiže se jednostavno primjenom indupcionih ili magnetoelektričnih pogonskih sistema.

Naponski releji izvode se kao jednopolni, dvopolni ili tropolni u zavisnosti o tome da li treba da kontroliraju jedan, dva ili sva tri fazna ili linijska napona. Priklučuju se na naponske mjerne transformatore i to direktno ako imaju zadatak da kontrolišu određeni fazni ili liniski napon ili putem filtera nulte ili inverzne komponente napona ako imaju zadatak da djeluju kod pojave ovih komponenti.



Slika 4. Naponski relj³

³ http://monti-doo.com/novi/images/com_hikashop/upload/rm35ua13mw.jpg

2.6. Učinski releji

Učinski ili vatmetarski releji imaju važnu ulogu u tehnici relejne zaštite. Imaju pogonski sistem koji razvija momenat ovisan o električnoj snazi, a koji se općenito može izraziti jednačinom.

$$M_n = K U_r I_r \cos(\varphi_n - \mathcal{L}) - M_m \quad (5)$$

gdje su: M_n - rezultirajući momenat koji djeluje na pomični sistem releja,

M_m - mehanički protumomenat opruge za podešavanje i trenja,

$u_r - i_r$ - sekundarni napon i struja priključeni na relaj,

φ_n - fazni ugao između struje i napona priključenih na relaj,

u_k - unutrašnji ugao releja,

k - konstanta određena konstrukcijom releja

Iz jednačine se vidi da proizvedeni momenat može da bude i pozitivan i negativan u ovisnosti o tome koliko je ugao $(\varphi_n - \mathcal{L})$. Relej može da bude osjetljiv na aktivnu snagu ($\mathcal{L} = 0^\circ$), reaktivnu snagu ($\mathcal{L} = 90^\circ$) ili na snagu kod bilo kojeg ugla φ ($\mathcal{L} > 0^\circ$).

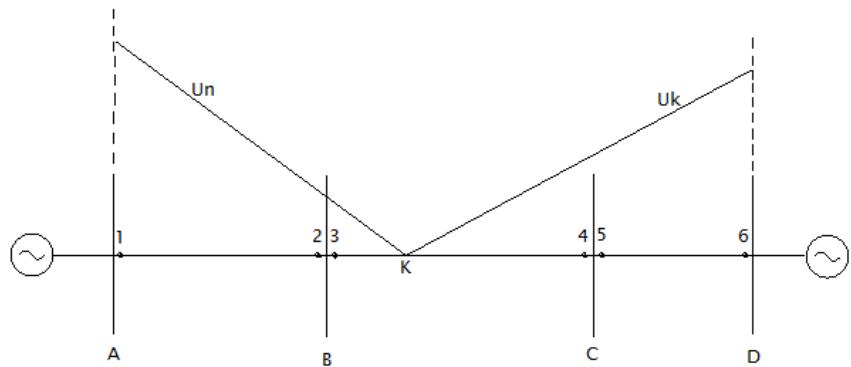
Učinski releji se koriste uglavnom kao releji smijera (smjerni releji), a manje kao releji snage. Prvi djeluju kad kontrolisana snaga promijeni svoj smjer. Smjerni releji upotrebljavaju se kao organi za blokiranje djelovanja distantskih releja sa smjernim organima koji nisu u stanju sami da razlikuju smijer struje kratkog spoja, kod zemljospojnih zaštita transformatora sa odcjepom za napajanje vlastite potrošnje i generatora uključenih direktno na sabirnice, kod zaštita generatora ili mreža sa povratne snage, kod releja za signalizaciju mjesta zemljospaja u njima.

S obzirom na svoju ulogu pred njih se postavljaju sljedeći ciljevi: Smjerni releji ne treba da tačno mijere snagu nego samo da tačno ustanove da je jedna od priključenih mjernih veličina promjenila smjer. Prema tome relaj treba da je osjetljiv samo na promjenu smijera kod zadanoj faktora snage i ne mora da bude naročito tačan. Zbog toga se kod izvedbi smjernih releja mogu upotrebljavati i instrukcije koje praktički uopšte ne mijere snagu. Osjetljivost smjernih releja treba da je što veća to jest relaj treba da djeluje sigurno kod što je moguće manje snage. Kod tropskih stalnih kratkih spojeva u blizini mjesta ugradnje releja napon, padne na sasvim mali iznos, tako da je snaga koja se dovodi releju mala, iako je struja dovoljno visoka. Ako je razvijeni pogonski moment manji od protumomenta trenja i opruge smjerni relaj ne može da djeluje što dovodi do zatajenja ili nepotrebognog djelovanja zaštite.

Vrijeme djelovanja smjernih releja treba da je što kraće, naročito kod brzih zaštita. Prema tome tromost pomičnog sistema treba da je što manja, proizvedeni momenat što veći, a put koji treba da pređe pomični sistem da je što kraći.

2.7. Distantni relēj

U visokonaonskim mrežama komplikiranijeg oblika, sa mnogo paralelnih uzamčenih vodova i sa mnogo izvora lociranim u raznim tačkama mreže, nemoguće je postići selektivnost djelovanja zaštite pomoću običnih ili usmjerenih prekostrujnih relēja. Kod drugih radikalnih vodova sa mnogo podstanica dobiju se, kod primjene prekostrujnih relēja sa strujno – nezavisnom karakteristikom, previsoka vremenska zatezanja djelovanja zaštite kod kvara na početku voda. Ovako duga vremenska zatezanja djelovanja zaštite imaju za posljedicu jako razaranje na mjestu kvara i negativan uticaj na rad ostale mreže. Razvitkom visokonaponskih mreža i porastom struja kratkog spoja sve se više potencira zahtjev za što bržim isključenjem kratkog spoja da bi negativan uticaj kratkih spojeva na stabilnost rada elektroenergetskog sistema bio minimalan. Porastom prenosnih napona i prenosnih snaga dalekovoda često se dešava da struja kratkog spoja kod kvara na kraju dugog voda može da bude manja od maksimalne struje koja se može prenijeti vodom. Ovo je naročito slučaj u vrijeme kad elektroenergetski sistem napaja minimalan broj elektrana. U takvim slučajevima nemoguće je dalekovod štititi sa prekostrujnim relējima, jer oni nisu u stanju da razlikuju maksimalnu pogonsku struju od struje kvara. Zbog navedenih razloga već davno se je pojavila potreba za zaštitom koja bi djelovala to brže što je mjesto kvara bliže. Ovakova zaštita omogućila bi brzo i selektivno isključenje kvara bez obzira na oblik mreže, jer bi najbrže djelovala zaštita najbliža mjestu kvara. Najprije se je došlo na ideju da se izradi zaštita sa vremenskim zatezanjem ovisnim o visini napona na mjestu ugradnje relēja. Na slici 5. prikazan je napom u dvostrano napajanoj mreži kod metalnog kratkog spoja u tački K.



Slika 5. Napom u dvostrano napajanoj mreži kod metalnog kratkog spoja u tački K

napajanoj mreži kod metalnog kratkog spoja u tački K. Na mjestu kvara napona je jednak nuli i, uz jednake otpore dalekovoda, raste linearno prema izvorima. Ukoliko bi zaštite u postrojenjima A, B, C, D bile izvedene tako da im vrijeme djelovanja bude proporcionalno naponu, najbrže bi djelovale zaštite u postrojenjima B i C, jer je tu napon najniži. Zaštite bi morale imati i smjerni relēj, tako da se postigne isključenje samo onog voda koji je u kvaru, tj. da djeluju samo relēji 3 i 4.

Ovako izvedena zaštita imala bi, međutim, niz nedostataka. Visina napona na mjestu ugradnje relēja ovisi o impedanciji voda i o veličini struje kratkog spoja. Pošto je

impedancija konstantna, to je i napon na mjestu ugradnje releja viši što je struja veća. Prema tome ; zaštita bi kod većih struja kratkog spoja djelovala sporije, što je nepoželjno. Kod kratkih spojeva putem prelaznih otpora napon na mjestu ugradnje releja ne opadne mnogo, što bi imalo za posljedicu preveliko vremensko zatezanje ili čak zatajenje zaštite.

Pošto napon na mjestu ugradnje releja ovisi znatno o veličini struje kratkog spoja, došlo se je na ideju da se kao kriterij za određivanje mjesta kvara uzme i napon i struja. Što je struja kvara veća i što je napon niži zaštita treba da djeluje brže. Vrijeme djelovanja ovakvog releja može se prema tome izraziti :

$$t_{dj} = K - \frac{U}{I} \quad (6)$$

Pošto odnose U / I predstavlja otpor ovakovi releji nazivaju se otporni releji.

Napon U na mjestu ugradnje zaštite kod tropolnog metalnog kratkog spoja jednak je padu napona na impedanciji voda :

$$U = I \ Z_1 \ L \quad (7)$$

Uvrštavanjem u jednačinu i postavljanjem $KZ_1 = K_1$ dobije se:

$$t_{dj} = K_1 \ L \quad (8)$$

Prema tome vrijeme djelovanja zaštite je proporcionalne udaljenosti ili distanci od mjesta ugradnje releja do mjesta kvara. Zbog toga se ovakovi releji nazivaju i distantni ili daljinski releji. Što je udaljenost L do mjesta kvara manja relej djeluje brže.

2.7.1. Sastav i djelovanje distantnih releja

Distantni releji sastoje se od više elemenata ili organa. To su : pobudni, smjerni, mjerni, vremenski, izvršni, i pomoći organi.

Pobudni organ / PO / stavlja u pokret / pobuđuje / rad zaštite u slučaju pojave kvara i priključuju mjerni organ za ispravne struje i napone. U mrežama srednjih napona primjenjuju se prekostrujni pobudni organi, a u mrežama viših napona upotrebljavaju se podinpedantni pobudni organi.

Smjerni organ / SO / kontrolira smjer struje kratkog spoja. Ako ona teče od sabirnica prema vodu omogućava djelovanje zaštite, a ako struja teče prema sabirnicama blokira djelovanje zaštite.

Mjerni organ / MO / priključen na struju i napon, mjeri otpor, odnosno udaljenost od mjestu ugradnje releja do mesta kvara. Ako se kvar nalazi unutar predviđene zone izmjereni otpor je manji od podešenog i relej zatvara kontakt i daje impuls izvšnom organu, koji izvrši iskljuljenje prekidača.

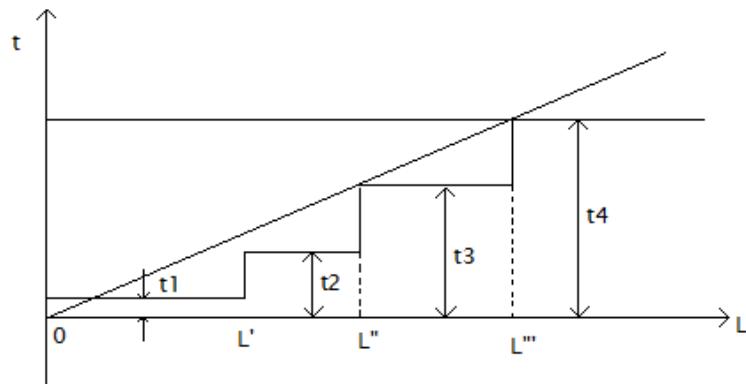
Vremenski organ / TO / osigurava vremensko stepenovanje djelovanja zaštite u ovisnosti o udaljenosti mesta kvara. Rekli smo da vrijeme djelovanja distantnih releja ovisi o

udaljenosti mjesta kvara. Zbog postizanja kraćih vremena djelovanja vremenska karakteristika nije linear, kao što je to prikazano na sl. III - 48 crtanom linijom, nego je stepenasta. Kod kvarova da dionici O - L' zaštita djeluje vrlo brzo u prvom ili osnovnom stepenu u vremenu t_1 . Kod kvarova između L' i L'' djeluje u drugom stepenu sa vremenskim zatezanjem t_2 , a kod još udaljenih kvarova na dionici L'' i L''' sa vremenskim zatezanjem t_3 itd. Vremenski organ ima zadatku da mjernom organu u određenim vremenskim razmacima dovodi sve manji napom i tako mu produžava zonu djelovanja.

Izvršni organ / IO / ima zadatku da u slučaju potrebe, a na osnovnu nalogu mjernog ili vremenskog organa, izvrši potrebna isključenja i signalizacije djelovanja.

Pomoći organ / PO / služe za različite pomoći svrhe kao : signalizaciju djelovanja, spriječavanje pogrešnih djelovanja, automatsko ponovno uključenje, ispitivanje releja u pogonu.

Distantni relj se priključuje na strujno i naponske mjerne transformatore. Kod kratkog spoja kroz strujne svitke relja poteče sekundarna struja kratkog spoja, a napon na relju opadne na vrijednost određenu veličinom struje kratkog spoja i udaljenosću do mjesta kvara. Prevelika struja izazove proradu pobudnog organa.



Slika 6. Vremenska karakteristika

On zatvori svoj kontakt i produži na pr. plus pol pomoćnog izvora struje na pomični kontakt smjernog relja. Smjerni relj priključen je na struju i napon. Ako struja kratkog spoja teće u vod pomični kontakt smjernog relja otkloni se u desno, produži plus pol na kontakt mjernog organa a istovremeno aktivira vremenski organ TO. Mjerni organ priključen je na struju kvara putem strujnog mjernog transformatora, a putem preklopke, kojom upravlja vremenski organ, na odgovarajući odcjep dodatnog naponskog međutransformatora MT. U početnom položaju preklopka je u položaju I i napon na relju je najveći. Ukoliko mjerni organ utvrdi da se kvar nalazi u zoni O - L' (slici 4.) on zatvori svoj kontakt i pobudi izvršni organ IO, koji zatvaranjem svojih kontakata izvrši isključenje prekidača.

Ukoliko se kvar nalazi na zoni L'-L'' izmjereni otpor je veći od proradnog otpora mjernog relja i on neće zatvoriti kontakte. Nakon isteka vremenskog zatezanja t_2 vremenski organ priključi naponski svitak mjernog organa na odcjep II. Napon na ovome

odcjepu je manji, tako da mjereni otpor postane prividno manji. Ukoliko se kvar nalazi u zoni $L' - L''$ mjerni organ zatvara kontakt i putem IO isključuje prekidač.

Ako se kratki spoj nalazi još dalje (zona $L'' - L'''$) mjerni relaj ne prorađuje. Nakon isteka vremena t_3 vremenski organ priključuje naponski svitak na još manji napon odcijepa III- Mjerni otpor prividno opadne i mjeeni organ zatvara kontakte. U slučaju da je mjesto kvara još dalje mjerni organ neće zatvoriti svoj kontakt i zaštita neće djelovati na isključenje prekidača.

Mnogi distanti releji imaju još i dodatni vremenski usporen kontakt IV koji, nakon isteka vremenskog zatezanja t_4 od momenta prorade pobudnog organa, pobudi izvršni organ i isključi prekidač neovisno o mjernom organu.

Ako za vrijeme rada zaštite struja kvara nestane ili opadne ispod struje otpuštanja pobudnog organa tako da se i ovaj vraća u početni položaj.

U slučaju dda struja kratkog spoja teče prema sabirnicama otklone se kontakt smjernog releja ulijevo , tako da ni mjerni ni vremenski rgan nemaju pomoćnog istosmjernog napona i zaštita ne može da djeluje.

2.8. Frekventni releji

Frekventni releji djeluju zatvaranjem svojih kontakata kad frekvencija napona na koji su priključeni opadne ispod, ili poraste iznad, podešene vrijednosti.Upotrebljavaju se za frekventno rasterećenje elektroenergetskog sistema kod nedostatka aktivne snage izvora praćenog opadanjem frekvencije.

Kod određivanja frekvencije primjer kod 48 Hz, ovi releji mogu da isključuju potrošače koji nisu jako osjetljivi na prekide u snabdijevanju električnom energijom ili potrošače sa povlaštenom tarifom. Na taj način spriječava se daljnje opadanje frekvencije i raspod sistema. U slučaju porasta frekvencije mogu da se koriste i za automatsko uključivanje potrošača.



Slika 7. Frekventni relaj⁴

Frekventni releji mogu se koristiti i za odvajanje od sistema pojedinih industrijskih potrošača koji imaju vlastite elektrane, a pogon im je vrlo osjetljiv na

⁴ https://pim.dold.com/uploads/attributevalue/30313/ba9837_571f6049bf644.png

promjene u frekvenciji. Osim toga koriste se i kao elementi kod uređaja za automatsku regulaciju frekvencije.

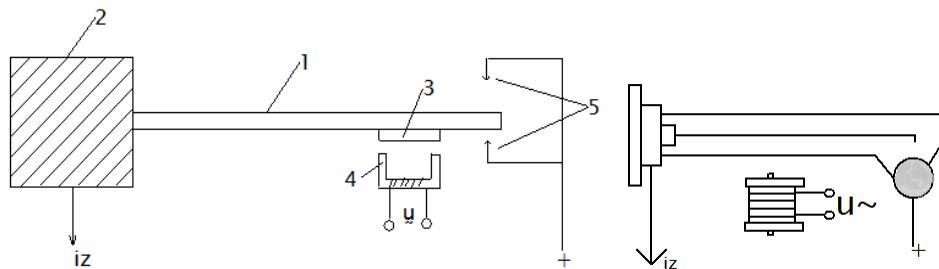
Releji djeluju na taj način da im pogonski sistem ima elemenat rezonantno podešen na određenu frekvenciju. Kad frekvencija napona na koji je relej priključen, odstupi od podešenog, relej prorađuje i zatvara kontakt. U zavisnosti o tome da li je mjerni organ izведен da djeluje mehanički ili električki, frekventne releje dijelimo na releje sa mehaničkom rezonancijom i releje sa električnom rezonancijom.

2.9. Releji s mehaničkom rezonancijom

Princip rada releja s mehaničkom rezonancijom prikazan je na (slici 8). Elastično pero, učvršćeno u podnožju, ima na sebi kotvu od mekog željeza. Ispod kotve nalazi se elektromagnet priključen na napon mreže direktno ili putem naponskih mjernih transformatora. Pero je spojeno na jedan pol pomoćnog napona.

Elektromagnet djeluje na kotvu titrajnom silom $P = k I_m^2 \sin^2 t$, gdje je I struja koja teće kroz namotaj elektromagneta. Sila koja djeluje na kotvu mijenja se prema tome od nule do maksimuma sa dvostrukom frekvencijom mreže. Ako je frekvencija sile P jednaka vlastitoj frekvenciji titrja pera s kotvom, ono dolazi u rezonanciju i počinje intezivno titrati tako da dodiruje nepomične kontakte, i na taj način djeluje na isključenje ili signalizaciju.

Preciznost djelovanja ovakvih frekventnih releja je dosta velika. Bez posebnih mjera lako se postiže tačnost od 1%. Osim toga vrlo su jednostavni. Da se vlastita frekvencija pera ne bi mijenjala zbog položenja prašine pero može da bude zatvoreno u staklenu ampulu s inertnim plinom. Kao fiksni kontakt može se upotrijebiti kapljica žive.



Slika 8. Relej s mehaničkom rezonancijom

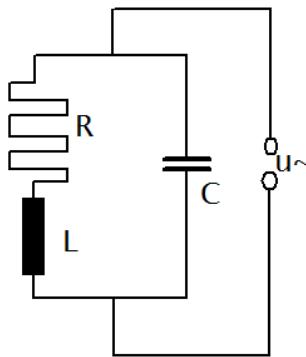
Nedostatak opisanih releja je što se rezonantna frekvencija ne može da podešava, jer je određena vlastitom frekvencijom titranja pera. Osim toga pero može da dođe u rezonanciju sa mehaničkim vibracijama kojima su izloženi elektromagnetski pogoni, što bi moglo da dovede do nepotrebognog djelovanja releja. Zbog toga se releji s mehaničkom rezonancijom rijetko upotrebljavaju u tehnici relejne zaštite.

2.9.1. Releji s električnom rezonancijom

Impedancija strujnih krugova sa radnim, induktivnim i kapacitivnim otporom mijenja se sa promjenom frekvencije. Kod serijskog spoja R-L-C imapedancija iznosi:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (9)$$

Na slici 9. Prikazan je spoj paralelne kombinacije R, L i C, priključene na napon U i dijagram promjene ukupne impedancije u ovisnosti o frekvenciji. Kod $f=0$, tj. Kod istosmjerne struje postojati će samo radni otpor R. Sa porastom frekvencije raste induktivni a opada kapacitivni otpor. Kod $L\omega = 1/C\omega$ imamo slučaj paralelne rezonancije. Strujni krug se ponaša kao radni otpor vrlo velikog otpora, jer je struja uz konstantan napon minimalna. Ako se frekvencija i dalje povećava kapacitivni otpor se i dalje smanjuje sve do vrijednosti nula kod beskonačne visoke frekvencije. Prema tome sa promjenom frekvencije mijenja se i fazni položaj struje koja teće kroz ovakav strujni krug. Struja može da bude u fazi sa naponom ($f=f_{rez}$), a da mu prethodi ($f > f_{rez}$) i da za njim zastaje ($f < f_{rez}$).



Slika 9. Spoj paralelne kombinacije R, L i C

Na osnovu ovoga dolazimo do zaključka da se frekventni relaj može izvesti pomoću indupcionog ili elektromagnetskog pogonskog sistema. Kod normalne frekvencije struje kroz namotaje ovih pogonskih sistema imaju takav međusobni fazni položaj da razvijeni momenat bude jednak nuli. Kod porasta ili smanjenja frekvencije fazni položaj se mijenja tako da se dobije momenat u jednom ili drugom smjeru.

3. ZAŠTITA TRANSFORMATORA

3.1. Kvarovi i nenormalna stanja u pogovnu transformatora

Zbog previsokih električnih naprezanja, kojima je izložena izolacija transformatora kod pojave atmosferskih i pogonskih prenapona, kao i zbog mehaničkih naprezanja kojima su izloženi namotaji zbog dinamičkih sila kod kratkih spojeva, u pogonu transformatora mora se računati s mogućnošću pojave kvarova. Osim toga izolacija s vremenom stari pod uticajem relativno visoke temperature kojoj je izložena u pogonu i pod uticajem raznih hemijskih procesa koji se u njoj pojavljuju.

Kvarove možemo podjeliti na :

- kratke spojeve između pojedinih faza u transformatoru ili na njegovim stezaljkama,
- kratke spojeve između zavojaka iste faze,
- spojeve sa zemljom namotaja ili izvoda iz transformatora.

U pogonu se najčešće dešavaju kratki spojevi na izvodima transformatora i spojevima među zavojima iste faze. Međufazni kratki spojevi unutar transformatora dešavaju se rijetko jer je izolacija između faza znatno dimenzionisana. Izolaciju među zavojima iste faze naročito naprežu strmi prenaponski valovi. Da bi se ograničio obim razaranja na mjestu kvara, zaštitni uređaju treba da djeluju vrlo brzo, tako da u što kraćem vremenu odvoje transformator od svih izvora napajanja.

Osim kvarova u pogonu se pojavljuju i stanja opasna za normalan rad transformatora. Takva stanja pojavljuju se kod preopterećenja transformatora, izazvanih ispadom transformatora ili dalekovoda koji paralelno napajaju zajednički konzum i kod kratkih spojeva u napajanoj mreži. U takvim slučajevima zahtijeva se da zaštita isključi transformator prije nego što bi opasno stanje moglo da dovede do kvara transformatora.

Kao zaštite od kvarova upotrebljavaju se:

- diferencijalna,
- Buchholzova,
- zamljospojna i
- momentalna prekostrujna zaštita.

Za zaštitu od nedozvoljeno visokih struja preopterećenja i vanjskih kratkih spojeva upotrebljavaju se termički prekostrujni releji i prekostrujni releji sa strujno nezavisnom vremenskom karakteristikom.

3.2. Diferencijalna zaštita transformatora

Diferencijalna zaštita transformatora pokazala se kao vrlo dobra zaštita od međufaznih kratkih spojeva, spojeva među zavojima i od zamljospojeva. Zaštita transformatora razlikuje se od diferencijalne zaštite generatora u tome što su joj uslovi rada mnogo teži. Nominalne struje transformatora različite su po veličini na primarnoj i sekundarnoj strani transformatora i odnose se kao:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} = n_T \quad (10)$$

Da bi se postigle iste sekundarne struje i na primarnoj i na sekundarnoj strani transformatora bilo bi potrebno da i strujni transformatori imaju nominalne struje u odnosu n_T . Pošto su nominalne struje strujnih transformatora standardizovane, obično je nemoguće prilagoditi strujne transformatore tako da se dobiju iste sekundarne struje na obje strane transformatora.

Kod transformatora koji imaju jednu stranu spojenu u trokut a drugu u zvijezdu struje I_1 i I_2 ne razlikuju se samo po absolutnom iznosu nego i po svom faznom pomaku. Prema tome kod diferencijalne zaštite transformatora potrebne su posebne mjere za usaglašavanje sekundarnih struja strujnih transformatora i po veličini i po fazi. U tu svrhu služe posebni međutransformatori. Prenosni odnos međutransformatora računa se iz uslova da sekundarne struje strujnih transformatora ispred i iza štićenog transformatora budu jednake, to jest:

$$n_{MT} = \frac{i'_2}{i'_1} = K \frac{U_1 n_1}{U_2 n_2} = \frac{N'_1}{N'_2} \quad (11)$$

gdje su: U_1, U_2 nominalni naponi štićenog transformatora,

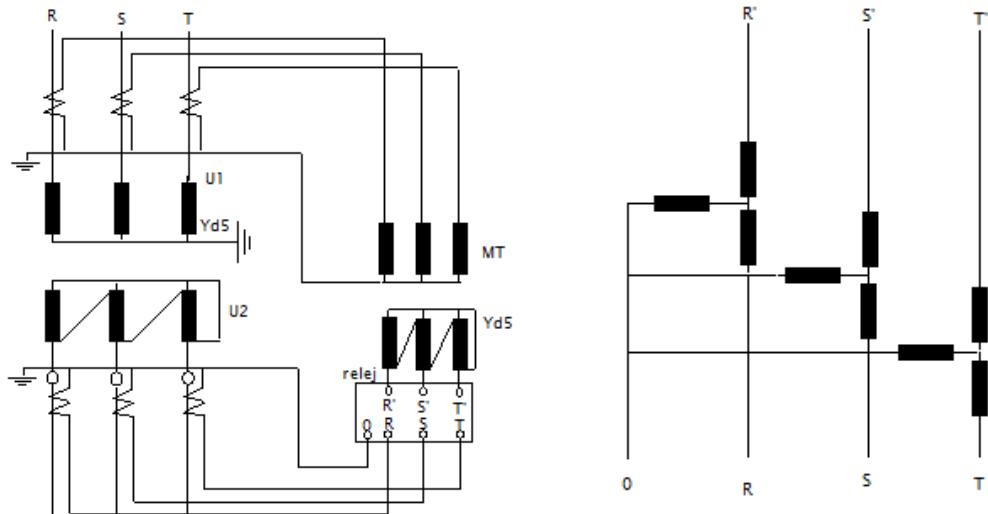
n_1, n_2 prenosni odnosi glavnih strujnih transformatora (I / i)

$i'_1 i'_2$ primarna i sekundarna struja međutransformatora

n_{MT} prenosni odnos međutransformatora.

Faktor K uzima u obzir spoj međutransformatora. Kod spojeva Yy id Dd on je jednak jedinici, kod spojeva Yd jednak je 1/V3, a kod spoja Dy jednak je V3.

Da bi se dobilo potrebno fazno prilagđenje sekundarnih struja potrebno je da međutransformatori imaju istu grupu spoja kao i štićeni transformatori. Na slici 7. Prikazan je spoj međutransformatora i priključak diferencijalnog releja u slučaju spoja transformatora Yd5. Strujni transformatori ispred i iza štićenog transformatora spojeni su u zvijezdu, kao što je to i normalno.



Slika 10. Spoj međutransformatora i priključak diferencijalnog releja

Međutransformator je također grupa spoja Yd5, a diferencijalni relej priključuje se na stranu trokuta. Ovakvim priključkom izbjegava se mogućnost proradde releja zbog prolaza kroz njega struje nulte komponente. Ukoliko bi se relej priključio na stranu vijezde postojala bi mogućnost prelaza struje nulte komponente kroz relej, umjesto kroz strujni transformator kod jednopolnih kratkih spojeva u mreži višeg napona.

Zbog mogućnosti pojave većih lažnih diferencijalnih struja, naročito kod transformatora sa regulacijom napona za vrijeme pogona, diferencijalna zaštita podešava se grublje nego li diferencijalna zaštita generatora. I stabilizacija se uzima viša. U normalnim slučajevima relej se podešava na 50% I_n i 50% stabilizacije.

Glavna prednost diferencijalne zaštite je njena velika brzina i selektivnost djelovanja. Brzina diferencijalne zaštite iznosi od 0,05 do 0,3 sec. Kao nedostatak bi se mogla uzeti komplikiranost spoja i mogućnost nepotrebnog djelovanja kod nedovoljno prilagođenih sekundarnih struja i kod velikih zahtjeva s obzirom na osjetljivost zaštite.

Ugradnja ove zaštite preporučuje se za sve veće i sve važnije transformatore, jer se brzim isključenjem u slučaju kvara smanjuje obim razaranja i vrijeme potrebno za otklanjanje kvara. Zaštita treba da djeluje na isključenje svih prekidača koji transformator povezuju s mrežom.

3.3. Buchholzova zaštita

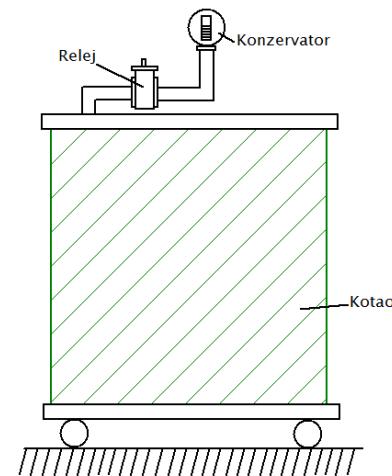
Buchholzova ili plinska zaštita našla je široku upotrebu kao zaštita kod svih vrsta unutrašnjih kvarova u transformatorima. Sve vrste kvarova u unutrašnjosti transformatora praćene su pojavom električnog luka ili jakim zagrijavanjem pojedinih dijelova. Pod uticajem luka dolazi do rastvaranja ulja i drugih izolacionih materijala, tako da se stvaraju plinovi, koji se kao lakši dižu prema gornjem dijelu i konzervatoru transformatora.

Kod većeg obima kvara razvijanje plinova je tako burno da dolazi do intezivnog potiskivanja ulja iz kotla prema konzervatoru, tako da ulje intenzivno struji kroz spojnu cijev između konzervatora i kotla. Stvaranje plinova u transformatoru i strujanje ulja prema konzervatoru iskorišteno je kao kriterij koji ukazuje na pojavu kvara u unutrašnjosti transformatora.

Na slici 11. Prikazan je princip djelovanja ove zaštite. Relej se sastoji od kućišta u kojem se nalaze dva plovka. Oba plovka nose živine kontakte, spojene sa stezalkama na kućištu. Relej se ugrađuje u spojnu cijev između kotla i konzervatora, i u normalnom pogonu ispunjen uljem.

Ukoliko dođe do stvaranja plinova u transformatoru oni se sakupljaju u gornjem dijelu releja i na taj način dolazi do spuštanja nivoa ulja. Kad količina plinova dostigne određenu mjeru zatvara se kontakt koji djeluje na signalizaciju bilo to direktno ili putem pomoćnog releja.

Ukoliko dođe do kvara većeg obima ulje počinje da intezivno struji prema konzervatoru tako da otkloni donji plovak u smjeru strujanja, što dovodi do zatvaranja njegovih kontakata i momentalnog isključenja transformatora iz pogona.



Slika 11. Princip djelovanja Buchholzove zaštite

Osim na kvarove bilo kojeg oblika, praćene pojavom zagrijavanja ili električnog luka, ovakva zaštita djeluje i u slučaju preniskog nivoa ulja u transformatoru, tako da se ne može desiti da transformator neopaženo ostane bez ulja. Prednost ove zaštite je jednostavnost, sigurnost, osjetljivost na sve vrste kvarova u unutrašnjosti transformatora i dovoljna brzina djelovanja.

Nedostatak je osjetljivost na potrese, tako da su zabilježena djelovanja releja kod zemljotresa ili kod udarca izazvanih dinamičkim silama kod bliskih kratkih spojeva. Da bi se relay učinio neosjetljivim na ovakve pojave ne smije da bude plovak za isključenje suviše osjetljiv.

Mnogobrojna ispitivanja pokazala su da releji mogu djelovati nepotrebno ukoliko je donji plovak podešen da djeluje kod brzine strujanja ulja oko 15 do 20 cm/s. Ukoliko je donji plovak podešen tako da djeluje kod brzina strujanja većih od 50 cm/s, ne dešavaju se nepotrebna djelovanja zaštite.

Osjetljivosti na udarce i potrese doprinosi i postojanje živinih kontaktata. Mnogo bolji rezultati postignuti su sa kontaktima bez žive. Plovak nosi na sebi trajni magnet koji u slučaju pojave plinova ili intezivnog strujanja ulja dolazi u neposrednu blizinu staklene ampule u kojoj se nalaze kontakti u vodiku.

Nastala magnetska sila zatvara kontakte i relay djeluje na signalizacijsko isključenje. Ispitivanja su pokazala da je ovakav relay mnogo neosjetljiviji na udarce i potrese. U donjoj tabeli prikazani su rezultati ispitivanja ovakovog relaya.

Prikazane su vrijednosti ubrzanja kod kojih su releji prorađivali. Smijer ubrzanja prikazan je strelicom. Relej može da djeluje na signalizaciju i zbog izlučivanja zraka iz ulja, naročito nakon stavljanja novog ulja u transformator.

Tabela 1.

Relej	\leftrightarrow	\uparrow	\leftarrow	\downarrow
Sa živinim kontaktom	0,4g	0,9g	4g	8g
Sa magnetskim kontaktom	6g	3g	>30g	>30g

Da li se radi o produktima rastvaranja ulja zbog luka ili o zraku, zaključuje se iz plinova sakupljenih u releju. Pomoću posebnog pipka ovi plinovi se mogu ispustiti iz releja i ispitati. Nagorivi plin bez boje i mirisa pokazuje da se radi o zraku. Bjeličast, begoriv plin sa oštrim mirisom označava oštećenje krute izolacije. Žučasti, teško zapaljiv plin pokazuje da je došlo do gorenja drvenih dijelova. Tamno sivi ili crni lako zapaljiv plin potiče od izgaranja ulja zbog električnog luka ili previsokog lokalnog zagrijavanja. Postoje i uređaji za ispitivanje sakupljenih plinova, kod kojih se plinovi propuštaju kroz tekuće reagense koji promjene boju u ovisnosti o porijeklu plina.

Kod transformatora koji nemaju konzervatora plinski relej može se bazirati na principu detekcije porasta pritiska u kotlu transformatora. Relej se montira na najvećoj tački transformatora i sadrži dvije komore. Jedna komora ispunjena je uljem i u njoj se nalazi plovak koji ima istu ulogu kao gornji plovak kod Buchholzovog releja. U jednom dijelu nalazi se ulje, a drugi dio ispunjen je inertnim plinom. Ukoliko se zbog pojave kvara u transformatoru pritisak u kotlu povisi, membrana se savija i aktivira kontakt koji djeluje na isključenje transformatora. Ovakvi releji djeluju već na minimalne nadpritiske (oko $0,07 \text{ kp/cm}^2$).

3.4. Momentalna prekostrujna zaštita

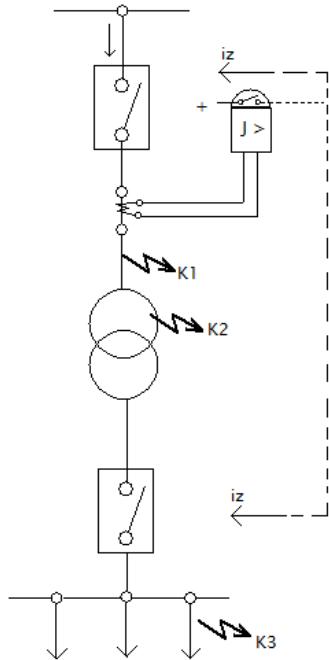
Kod manjih transformatora, gdje se ne isplati ugradnja skupe diferencijalne zaštite a zvjezdiste mreže je izolirano ili kompenzirano, zaštita od velikih struja kratkih spojeva na stezaljkama transformatora sa strane napajanja i u unutrašnjosti transformatora može se jednostavno izvesti pomoću momentalnih prekostrujnih releja priključenih na strujne transformatore sa strane napajanja transformatora prema slici 12.

Nadstrujni relej treba da djeluje kod kratkih spojeva na dovodu do transformatora, na stezaljkama transformatora, i kod kratkog spoja u namotaju transformatora. Da ovako izvedena zaštita ne bi nepotrebno djelovala.

Kod kratkih spojeva na odvodima nižeg napona (K_3) potrebno je da momentalni nadstrujni relej bude podešen na proradnu struju koja je veća od struje kratkog spoja za slučaj kvara na strani nižeg napona.

Zbog potrebnog koeficijenta sigurnosti proradna struja releja treba da je 1,4 do 1,6 puta veća od struje kratkog spoja na sekundarnim stezaljkama transformatora.

Prema tome zaštita neće djelovati kod kratkog spoja na sekundaru transformatora, a niti kod kratkog spoja u jednom dijelu sekundarnog namotaja.



Slika 12. Momentalna prekostrujna zaštita

Struja kratkog spoja ovisi o nizu okolnosti kao što su: ukloplno stanje mreže višeg napona, broj generatora koji paralelno napajaju mrežu na koju je transformator priključen, prelazni otpor na mjestu kvara. Prema tome kod nepovoljnih okolnosti ova zaštita ne zahvaća duboko u transformator, što joj je i glavni nedostatak. U kombinaciji sa Buchholzovom zaštitom predstavlja ipak bolje rješenje od nadstrujne strujne nezavisne zaštite, jer obuhvaća i kvarove na stezalkama gornjeg napona.

3.5. Zaštita od preopterećenja (prekomjernog zagrijavanja)

Do preopterećenja transformatora može da dođe zbog ispada iz pogona transformatora koji paralelno napajaju isto potrošačko područje ili zbog ispada pojedinih elektrana ili napajnih vodova. Transformator je zbog svog znatnog toplinskog kapaciteta u stanju da izdrži znatna preopterećenja. Za zaštitu od preopterećenja najbolje će poslužiti termički relej, to jest releji sa strujno zavisnom vremenskom karakteristikom. Najidealnije štićenje postiže se pomoću kompenziranog termostata ili termičke slike transformatora. Ova zaštita sastoji se od termičkog releja smještenog u prostoru ispod poklopca transformatora. Ovaj prostor ispujen je uljem i u njemu se nalazi još i poseban grijač kroz koji protiče struja proporcionalna struji opterećenja transformatora. Kod ispravno odabrane konstante zagrijavanja grijane mase razlika u temperaturi između ulja i termičkog releja odgovarati će upravo razlici temperature između ulja i namotaja transformatora. Ovakav termički relej može da djeluje na signal ili isključenje.

Termička zaštita transformatora izvodi se i sa relejima montiranim odvojeno od transformatora. Ovakav termički relej zagrijava se strujom proporcionalnoj struji

opterećenja transformatora. Vremenska konstanta releja prilagođena je konstanti zagrijavanja transformatora, tako da relej preslikava zagrijavanje transformatorskog namotaja. Ovakvo rješenje je najsavršenije jer se relej nalazi u drugoj okolini nego namotaj. Osim toga ovakva zaštita ne može da djeluje na prekomjerno zagrijavanje izazvano primjer ispadom ventilatora ili pumpi za hlađenje transformatora.

Pored termičkih releja za zaštitu od nedozvoljenog zagrijavanja služe i kontaktni termometri koji mjere temperaturu gornjih slojeva ulja. Oni imaju obično dva kontakta kod kojih jedan djeluje na signalizaciju, a drugi na isključenje transformatora iz pogona.

3.6. Prekostrujna zaštita (zaštita od vanjskih kratkih spojeva)

Prekostrujna zaštita služi za zaštitu transformatora od velikih struja kratkog spoja koje mogu da se pojave kod kratkih spojeva u napajanoj mreži. Služi i kao rezervna zaštita za slučaj unutrašnjih kvarova u transformatoru. Izvodi se obično sa strujno nezavisnom vremenskom karakteristikom. Zbog sigurnosi izvodi se uvijek trofazno, bez obzira na način uzemljenja nultačke mreže. Releji se priključuju na strujne transformatore smještene sa strane napajanja transformatora. Ukoliko se transformatori iz ekonomskih razloga ne postavljaju na primarnu stranu zaštita se priključuje na sekundarnu stranu, ali u tom slučaju ne predstavlja rezervu zaštite od unutrašnjih kvarova. Proradna struja odabire se tako da zaštita ne djeluje na struje preopterećenja, a da sa sigurnošću djeluje kod najnepovoljnijeg slučaja kratkog spoja u napajanoj mreži. Koeficijent osjetljivosti zaštite, definisan kao omjer minimalne struje kratkog spoja i proradne struje to jest $I_k \text{ min}/I_{pr}$ treba da je veći od 1,4. U slučaju kad je koeficijent osjetljivosti premalen, proradna struja podešava se na nižu vrijednost, što može dovesti do djelovanja ove zaštite kod preopterećenja transformatora. U naročito nepovoljnim slučajevima može se izvesti blokiranje djelovanja zaštite kod preopterećenja pomoću podnaponskih releja. Podnaponski releji omogućavaju djelovanje vremenskog releja samo u slučaju kratkih spojeva to jest kad napon između pojedinih faza znatno opadne. Kod preopterećenja ne dolazi do pada napona, podnaponski releji ne prorađuju i na taj način eventualna prorada nadstrujnih releja ne dovodi do djelovanja zaštite.

Vremensko zatezanje djelovanja prekostrujne zaštite transformatora odabire se prema potrebama postizanja selektivnosti djelovanja zaštite kod kvarova u napajanoj mreži, vodeći računa o tome da se ne pređe dozvoljeno vrijeme trajanja kratkog spoja dato u tabeli 2.

Tabela 2.

$u_k (\%)$	3,5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$t_k (s)$	1,4	1,8	2,8	4,0	5,5	7,2	9	11	13	16	19	22

3.7. Zaštita regulacionog prekidača

Regulacioni prekidač smješten je obično u posebnom prostoru ispunjenom uljem. Za zaštitu od kvarova u prekidaču služi poseban Buchholzov ili plinski tlačni relej. Osim toga regulacioni prekidač ima često zaštitu koja onemogućava djelovanje regulatora kod kratkih spojeva u mreži. Ova zaštita izvodi se ili pomoću nadstrujnog releja podešenog nešto iznad maksimalno dozvoljene struje kroz regulator, ili pomoću podnaponskog releja.

3.8. Izbor zaštite transformatora

Sasvim mali transformatori mogu se uspješno zaštititi samo osiguračima. Transformatori, počev od 400 kVA na više treba štititi Buchholzovom zaštitom. Transformatori manje snage štite se od struja preopterećenja i kratkih spojeva primarnim okidačima sa strujno-zavisnom vremenskom karakteristikom. Veći transformatori štite se od preopterećenja termičkim zaštitama, a od vanjskih kratkih spojeva preko strujnom zaštitom sa strujno nezavisnom vremenskom karakteristikom.

4. ZAŠTITA ELEKTRIČNIH MREŽA VISOKOG NAPONA

4.1. Kvarovi i nenormalna stanja u pogonu električnih mreža

Električne mreže su dio elektroenergetskog sistema najviše najviše izložen kvarovima. Do kvarova dolazi zbog visokih električnih naprezanja izazvanih atmosferskim i pogonskim prenaponima, zbog previšokih mehaničkih naprezanja zbog dodatnih tereta (led, snijeg, niske temperature), zbog prljanja izolacije, naročito u industrijskim rejonima sa jako zagađenom atmosferom, zbog mogućeg uticaja stranih predmeta i lica (granje drveće, ptice, djeca) kao i zbog krivih manipulacija u postrojenjima (isključenje rastavljača pod teretom, uključenje uzemljenog dalekovoda, uključenje bez sinhronizma).

Prema vrsti kvara djelimo ih na:

- tropolne, dvopolne i jednopolne kratke spojeve, u ovisnosti o broju faza obuhvaćenim kratkim spojem,
- tropolne i dvopolne zemljospojeve, to jest kratke spojeve praćene istovremeno i spojem sa zemljom,
- zemljospojeve jedne faze sa uzemljenim dijelovima u mrežama sa izoliranom ili kompenziranim nultačkom.

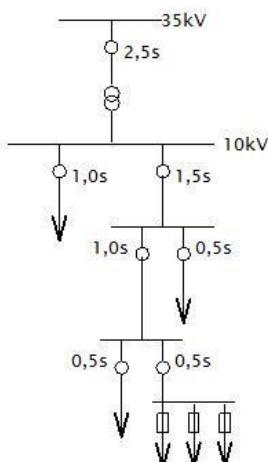
Kratki spojevi i dvostruki zemljospojevi praćeni su velikim strujama kratkog spoja koje razaraju opremu na mjestu kvara, negativno utiču na stabilnost rada ostale mreže i termički naprežni opremi duž cijelog strujnog kruga kojim teku velike struje kratkog spoja. Zbog toga se postavlja zahtjev za što bržim isključenjem oštećene dionice mrež. Zahtjev za brzim isključenjem sve je oštriji što je mreža razgranatija i što je elektroenergetski sistem veći, jer su u tom slučaju i struje kratkog spoja veće a i uslovi stabiliteta teži.

Osim kvarova u pogonu mreža javljaju se i nenormalna pogonska stanja koja bi mogla da dovedu do kvara ukoliko se pravovremeno ne bi poduzele potrebne mjere. Takvo pogonsko stanje je (primjer: nedozvoljeno visoko strujno opterećenje dalekovoda, do kojega može doći kod ispada dalekovoda koji paralelno napajaju isto potrošačko područje. Opasno pogonsko stanje je i rad mreže s izoliranim ili kompenziranim zvjezdastim kod zemljospojima. Zbog visokih prenapona koji se pojavljuju kod zemljospojeva putem intermitirajućeg električnog luka može doći do probroja izolacije uređaja u postrojenjima ili na dalekovodu. Zadatak reljne zaštite je da upozori pogonsko osoblje na nastalo opasno stanje.

Relejni zaštitni uređaji koji djeluju kod pojave kvara mogu se podjeliti na zaštitne uređaje sa stepenastom vremenskom karakteristikom i na diferencijalne zaštite. U prvu grupu spada prekostrujna, usmjerena prekostrujna i distančna zaštita. Vrijeme djelovanja ovih zaštita ovisi o mjestu kvara u mreži. Diferencijalne zaštite dijele se na uzdužnu i poprečnu diferencijalnu zaštitu i na visokofrekventne diferencijalne zaštite. Ove zaštite djeluju bez vremenskog zatezanja djelovanja.

4.2. Prekostrujna zaštita

Prekostrujna zaštita električnih mreža je jednostavniji oblik zaštite. Primjenjuje se radikalnim mrežama srednjih naponi. Na slici 13. prikazan je primjer štićenja radikalne mreže napajanje samo s jedne strane.



Slika 13. Štićenje radikalne mreže napajane s jedne strane

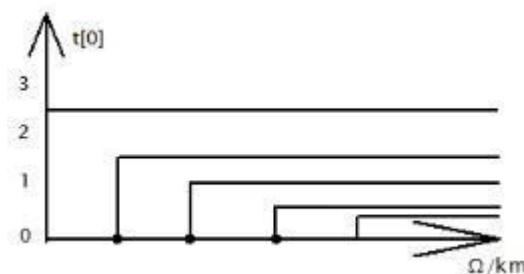
Zaštitni uređaji nalaze se na odvodima iz pojedinih podstanica. U evropskim zemljama primjenjuju se prekostrujni releji sa strujno nezavisnom vremenskom karakteristikom, a moguća je i upotreba releja sa strujno zavisnom karakteristikom. Vremensko zatezanje djelovanja stepenuje se od krajnje tačke mreže prema izvoru napajanja. Potrebna vremenska stepenica ovisi o izvedbi releja, naročito njegovog vremenskog člana. Kod primarnih releja treba uzeti minimalno 0,8 do 1,0s, a kod dobrih

sekundarnih releja 0,4 do 0,6s. Izbor vremenske stepenice ovisi osim toga o učestalosti revizija i ispitivanja zaštitnih uređaja.

Vremenska karakteristika djelovanja prikazana je na slici 14. Na apscisu os nanešen je otpor dalekovoda ili njegova dužina, a na ordinatnoj osi nalazi se vremensko zatezanje djelovanja. Prednost prekostrujne zaštite je u njenoj jednostavnosti, sigurnosti i u rezervnom štićenju svih daljnih dionica za slučaj zatajenja prethodnog releta ili prekidača. Nedostatak prekostrujne zaštite je što se kvarovi bliže izvoru napajanja, kad je i struja kratkog spoja veća, isključuje se većim vremenskim zatezanjem. U slučaju dugih vodova sa većim brojem podstanica dobilo bi se previsoko vremensko zatezanje djelovanja zaštita ugrađenih u blizini izvora napajanja. Kod podešavanja prekostrujnih zaštita treba provjeriti da li je zaštita osjetljiva na struje kvara na kraju štićenog voda i to za uklopno stanje kod kojega su struje kratkog spoja minimalne. S druge strane proradna struja treba da je dovoljno visoka da ne bi dolazilo do djelovanja zaštite kod preopterećenja dalekovoda ili kod kratkotrajnih udaraca u mreži. Ako je omjer otpuštanja releta jednaka proradna struja treba da bude minimalno:

$$I_{pr} = \frac{I_{max\ p\cdot g\cdot k_s\cdot k_{sp}}}{a \cdot n_l} \quad (12)$$

Uzimajući u obzir prenosne odnose strujnih transformatora na koje je zaštita priključena. U mrežama s izoliranim ili kompenziranim zvjezdastim dovoljno je da relet ugrade u dvije faze (R i T). Za ispravno djelovanje važno je da releti u cijeloj mreži budu ugrađeni u istim fazama. U mrežama sa zvjezdastim uzemljenim direktno ili putem niskih vrijednosti otpora, potrebno je da budu obuhvaćeni i jednopolni kratki spojevi. Prema tome zaštita treba da bude trofazna ili mora postojati drugi relet, priključen na nultu komponentu struje, koji djeluje na jednopolne kratke spojeve. Prekostrujna zaštita djeluje na isključenje dalekovodnog prekidača i na signalizaciju djelovanja.



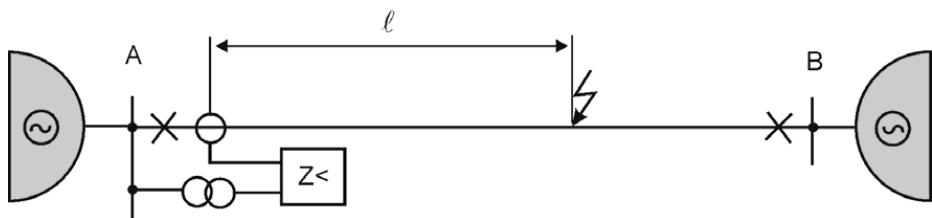
Slika 14 Vremenska karakteristika djelovanja

4.3. Distantna zaštita

Distantna zaštita najčešće se koristi za zaštitu vodova u visokonaponskim prijenosnim mrežama. Razvila se iz potrebe zbog bržeg eliminiranja kratkih spojeva u mreži. Naročito u petljastim mrežama napajanim s više strana, kakve su upravo prijenosne mreže. Njen osnovni zaštitni uređaj jest distantni relet. IEC oznaka distantne zaštite jest

$Z<$, dok je ANSI oznaka 21. Distantna zaštita priključuje se na strujne i naponske transformatore.

Kao kriterij djelovanja distantna zaštita koristi vrijednosti napona i struje na mjestu ugradnje distantnog releja, dakle, na mjestu priključka releja na strujne i naponske transformatore. Ona djeluje na isključenje prekidača u vodnom polju u kojem je priključena. Zbog veće učinkovitosti (bržeg isklapanja kvarova i bolje selektivnosti), distantne zaštite ugrađene na oba kraja visokonaponskih vodova mogu međusobno komunicirati. Ova komunikacija provodi se posebnim komunikacijskim vodom koji može biti optički vod (npr. OPGW zaštitno uže) ili telekomunikacijski vod. Slika 15 grafički ilustrira način priključka distantne zaštite visokonaponskog voda.



Slika 15. Jednopolna shema priključka distantne zaštite visokonaponskog voda.

Vrijeme djelovanja distantne zaštite proporcionalno je udaljenosti / distanci (ℓ) između mjesta nastupa kratkog spoja i mjesta ugradnje distantnog releja. Također, mjerena impedancija distantne zaštite između mjesta nastupa kratkog spoja i mjesta ugradnje distantnog releja proporcionalna je udaljenosti / distanci (ℓ). Otuda i naziv ovoj zaštiti, odnosno, relejnom uređaju: distantna zaštita, odnosno, distantni relaj.

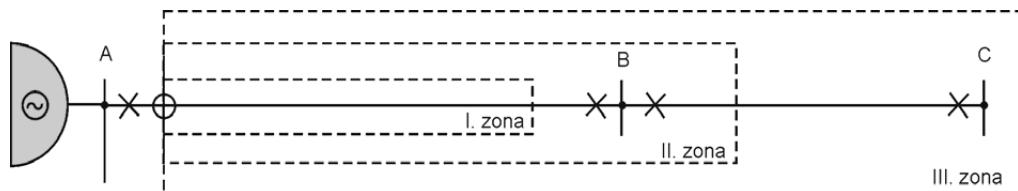
Distantni relaj je složeni zaštitni uređaj, koji se sastoji od više članova. To su najčešće: poticajni ili pobudni član, usmjerni član, mjerni član, vremenski član, izvršni član i pomoćni članovi. Poticajni član stavlja u pokret rad distantne zaštite u slučaju pojave kratkog spoja i time priključuje mjerni i usmjerni član na potrebne struje i napone. Usmjerni član nadzire smjer snage kratkog spoja. Ako ona teče od sabirnice prema štićenom vodu, on omogućuje djelovanje distantne zaštite, dok u suprotnom smjeru (snage) blokira njeno djelovanje. Mjerni član je priključen na struju i napon te mjeri impedanciju (općenito) između mjesta nastupa kratkog spoja i mjesta ugradnje distantnog relaja. Ova mjerena impedancija je proporcionalna udaljenosti između mjesta nastupa kratkog spoja i mjesta ugradnje distantnog relaja. Ukoliko je mjerena impedancija manja od podešene vrijednosti impedancije na mjernom članu, mjerni član daje nalog izvršnom članu, podsredstvom vremenskog člana. Vremenski član osigurava vremensko stupnjevanje djelovanja distantne zaštite (selektivnost) u ovisnosti o udaljenosti mjesta kratkog spoja od mjesta ugradnje distantnog relaja. Izvršni član ima zadaću djelovati, po nalogu mjernog ili vremenskog člana, na isključenje prekidača i odgovarajuću signalizaciju prorade diferencijalnog relaja. On prvenstveno djeluje na odgovarajući isklopni svitak prekidača. Pomoćni članovi služe za različite pomoćne svrhe, poput: signalizacije djelovanja, spriječavanja pogrešnih djelovanja, automatsko ponovno uključivanje, ispitivanje relaja u pogonu i tome slično.

Distantna zaštita razlikuje stanje kvara na štićenom vodu, u odnosu na stanje normalnog pogona, temeljem mjerene impedancije – koja pak odgovara udaljenosti mesta kvara od sabirnica (na koje je priključena spomenuta distantna zaštita). Mjerenje udaljenosti od sabirnica do mesta kvara (odnosno mjerenje odgovarajuće impedancije) sadrži u sebi određenu pogrešku. Dakle, nije sa potpunom sigurnošću moguće utvrditi točno mjesto nastupa kvara (kratkog spoja) na vodu. Osim toga, mogući su nastupi raličitih vrsta kratkih spojeva na vodu (međufazni kratki spojevi i kratki spojevi sa zemljom). Pritom kod kratkih spojeva dolazi do pojave električnog luka, čiji otpor utječe na promjenu mjerene impedancije. Nadalje, kod kratkih spojeva sa zemljom dolaze do utjecaja i naznačni uzemljivači stupova dalekovoda, koji također dodatno utječu na vrijednost mjerene impedancije. Ovo može imati za posljedicu da mjereno mjesto kvara koje "vidi" distantna zaštita ne odgovara stvarnom mjestu nastupa kvara (kratkog spoja).

Zbog svega prethodno rečenog, distantna zaštita djeluje na principu zaštitnih zona. Ona posjeduje redovito više zaštitnih zona. Osnovnu zonu (I. zona, odnosno, I. stupanj) distantne zaštite predstavlja određeni dio štićenog voda. Naime, nije moguće – iz prethodno izloženih razloga – u I. zonu (I. stupanj) distantne zaštite smjestiti ukupnu duljinu štićenog voda, jer bi moglo doći do prelaza / prekoračenja dotične zone preko sabirnica na kraju štićenog voda i isključenja kvarova na susjednom vodu (elementu). Ovo nije dobro, jer time nije ispunjen uvjet selektivnosti (naime, prednost ima distantna zaštita susjednog voda koja mora prva isključiti kvar na njemu). Distantna zaštita u svojoj I. zoni djeluje bez vremenske odgode i isključuje kravove u najkraćem mogućem vremenskom roku.

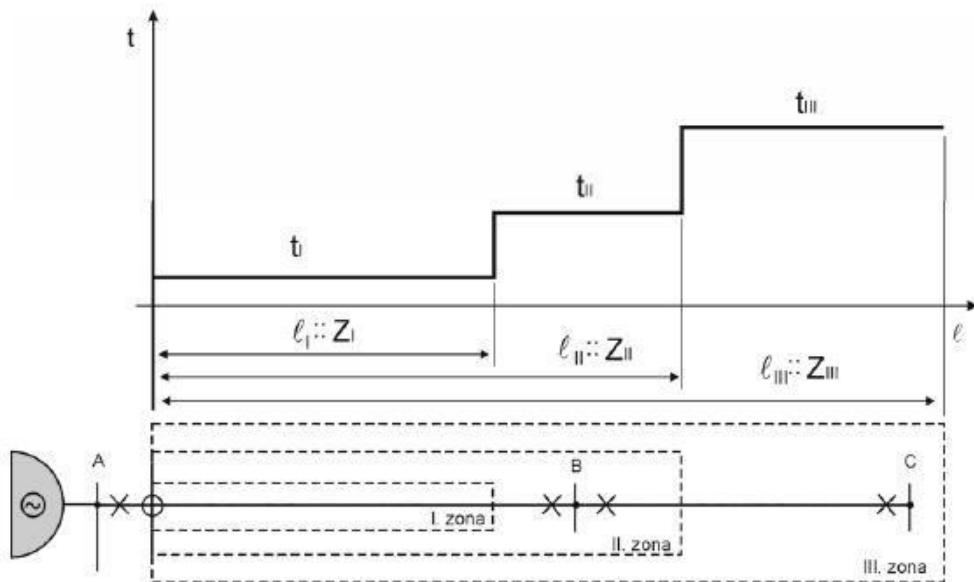
II. zona (II. stupanj) distantne zaštite mora sigurno prijeći / prekoračiti sabirnice na kraju štićenog voda i prekriti jedan dio susjednog voda (elementa), ali ne smije dosegnuti sabirnicu na njegovom kraju. Ukoliko postoji više vodova (u sujednom postrojenju), II. stupanj distantne zaštite ne smije prekoračiti najkraćeg od njih. Dakle, potrebna je koordinacija dosega distantnih zaštita susjednih vodova.

III. zona (III. stupanj) distantne zaštite mora sigurno prijeći (prekoračiti) kompletan susjedni vod (element), odnosno, ukoliko postoji više vodova, mora prekriti najduži od njih. Zona II. i III. distantne zaštite predstavlja rezervnu (back-up) zaštitu distantnim zaštitama koje se nalaze u susjednim vodovima. Sve navedene zone štićenja imaju usmjerenje prema naprijed, dakle, u smjeru štićenog voda. Grafička ilustracija zaštitnih zona distantne zaštite prikazana je na slici 16. Riječ je o distanom releju ugrađenom na vodu A-B u stanici / postrojenju A. On "gleda" prema sabirnici B, duž štićenog voda A-B.



Slika 16. Grafička ilustracija zaštitnih zona distantne zaštite

Selektivnost među distantnim zaštitama na različitim krajevima voda, kao i među zonama štićenja, ostvaruje se odgovarajućim vremenskim stupnjevanjem. Primjer vremenske karakteristike distantne zaštite ugrađene u postrojenju A na vodu A-B (vidjeti sliku 17). Na slici 17. uočava se selektivnost među zaštitnim zonama koja je ostvarena upotrebom vremenog zatezanja (dulje vrijeme odgode djelovanja distantne zaštite u višim stupnjevima). Za ostvarenje vremenske diskriminacije među zonama, primjenjuje se odgovarajući selektivni vremenski interval.



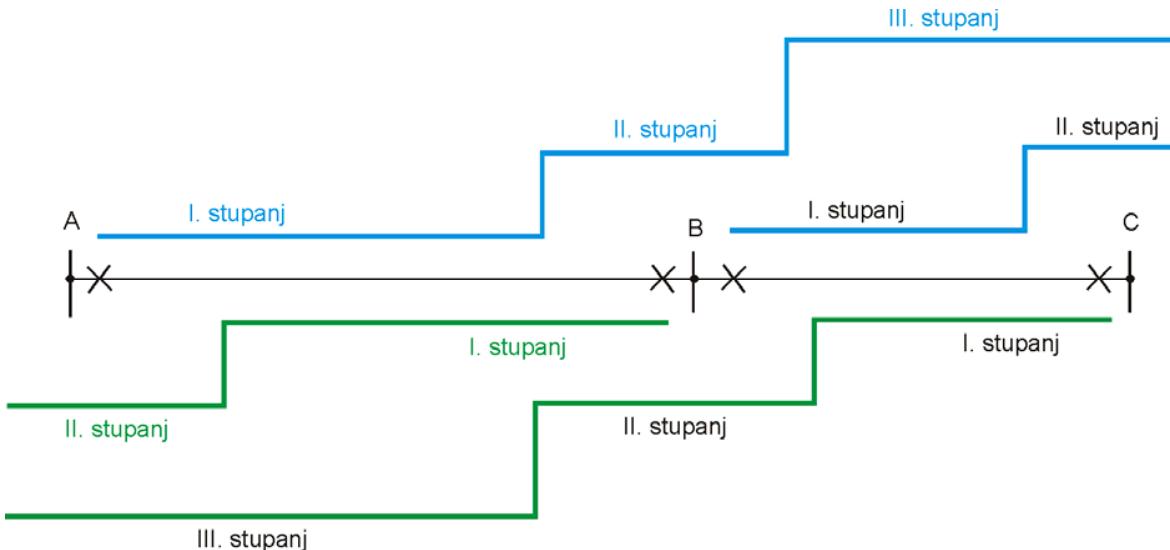
Slika 17. Primjer vremenske karakteristike distantne zaštite.

Oznake primjenjene na slici 17. imaju sljedeća značenja:

t_I, t_{II}, t_{III} – vremena (odgode) djelovanja u I., II. i III. stupnju distantnog releja; pritom vrijeme t_I predstavlja tzv. vlastito vrijeme uvećano za vrijeme djelovanja prekidača (najkraće vrijeme u kojem je moguće isključiti kvar, cca 100 ms),
 Z_I, Z_{II}, Z_{III} – proradne impedancije I., II. i III. stupnja distantnog releja; ovim impedancijama su odgovarajuće udaljenosti ℓ_I, ℓ_{II} i ℓ_{III} .

U postrojenju B na vodu A-B postavljena je također distantna zaštita, koja "gleda" u smjeru prema postrojenju A, duž štićenog voda A-B. Ona ima identičnu vremensku karakteristiku, onoj prikazanoj na slici 17, samo u suprotnom smjeru. Također, u postrojenju B na vodu B-C postoji istovjetna distantna zaštita koja "gleda" u smjeru štićenog voda B-C (suprotno od distantne zaštite u postrojenju A na vodu A-B). Konačno i u postrojenju C postoji distantna zaštita koja "gleda" duž štićenog voda B-C prema sabirnici B. Sve ove distantne zaštite moraju biti međusobno koordinirane s obzirom na doseg zaštitnih zon i odgovarajuća vremenska zatezanja. One moraju biti koordinirane i sa ostalim naznačnim zaštitama u sustavu, kao i zaštitama ostalih incidentnih elemenata. Slika 15. grafički ilustrira koordiniranje vremenskih karakteristika više diferencijalnih

releja. U konkretnom slučaju riječ je o četiri diferencijalna releja (po dva na svakom od vodova A-B i B-C), koji kontroliraju četiri prekidača prikazana na slici 17.



Slika 18. Grafička ilustracija koordiniranja vremenskih karakteristika više diferencijalnih releja.

Temeljem prethodno iznesenog (kao i grafičkih prikaza na slikama 17 i 18), uočava se da postoji određeni dio štićenog voda A-B koji nije zaštićen s najkraćim vremenom isklopa (u I. stupnju), već je štićen u II. stupnju distantne zaštite s nešto dužim vremenom isklopa. Ovo je nužnost koju nameće uvjet selektivnosti. Riječ je ovdje, dakako, o prijenosnim vodovima koji su napajani s obje strane, pri čemu distantna zaštita na oba njegova kraja moraju isključiti vod u kvaru.

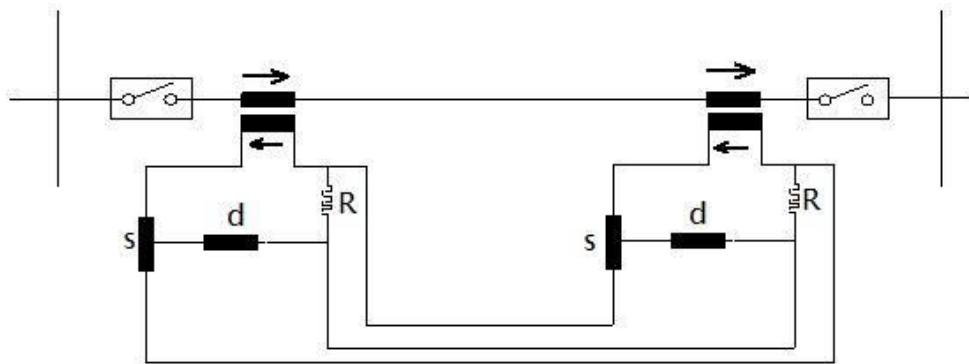
Ovaj nedostatak distantne zaštite moguće je nadići korištenjem odgovarajuće komunikacijske sheme djelovanja distantne zaštite. Naime, povezivanjem (najčešće optičkom vezom) distantnih relejnih uređaja na oba kraja štićenog voda, oni međusobno komuniciraju. Realizacijom ove komunikacije među distantnim relejima na oba kraja štićenog voda moguće je ostvariti distantnu zaštitu dotičnog voda u cijeloj njegovoj duljini u najkraćem vremenu isklopa (dakle, u I. stupnju). Riječ je, dakle, o posebnom načinu djelovanja diferencijalne zaštite, tzv. komunikacijskoj shemi diferencijalne zaštite. Moguće je pritom više različitih načina ostvarenja koordiniranja diferencijalnih zaštita, korištenjem spomenute komunikacije, a u svrhu ostvarenja štićenja cjelokupne duljine voda u I. stupnju. O komunikacijskim shemama distantne zaštite biti će više govora u nastavku.

4.4. Uzdužna diferencijalna zaštita

Uzdužna diferencijalna zaštita, koja se mnogo koristi za zaštitu generatora i transformatora, može se upotrebljavati i za zaštitu vodova, upoređujući veličinu i smjer na

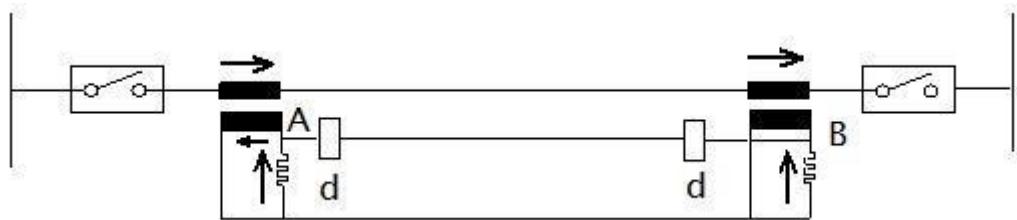
početku i na kraju štićenog dalekovoda. Pri tome se pojavljuje niz poteškoća. Strujni transformatori na početku i na kraju voda moraju biti međusobno povezani sekundarnim vodovima. Ukoliko je dužina štićenog dalekovoda imalo veća, bili bi potrebni strujni transformatori znatne snage da bi pokrili gubitak snage u spojnim vodovima. Povećano sekundarno opterećenje ima za posljedicu i veće lažne diferencijalne struje, tim više što struja kratkog spoja kod dalekovoda može da bude mnogo veća od nominalne struje transformatora (20 i 30 puta), što nije bio slučaj kod zaštite transformatora i generatora. Zbog toga se normalna diferencijalna zaštita može upotrijebiti samo za zaštitu sasvim kratkih vodova dužine do nekoliko stotina metara.

Da bi se povećala moguća dužina štićenja postoji više načina. Pošto gubici rastu sa kvadratom struje moguće ih je smanjiti primjenom malih sekundarnih struja koje kruže između početka i kraja voda. Sekundarna struja od 0,1A ima na primjer 2500 puta manje opterećenje u odnosu na struju od 5A. Da bi se postiglo simetrično opterećenje potrebno je ugraditi dva diferencijalna releja. Na slici 15. Prikazan je princip djelovanja uzdužne zaštite. Otpor R služi za slučaj prekida spojnih vodova između početka i kraja štićenog voda. Strujni transformator ne ostaje pri tome otvoren nego se struja zatvara preko njega. Ovaj otpor izvodi se obično kao nelinearni otpornik, tako da kod ispravnih spojnih vodova kroz njega praktički ne teče struja. Da bi se spriječilo nepotrebno djelovanje zbog lažnih diferencijalnih struja zaštita je stabiliziranja.



Slika 19. Princip djelovanja uzdužne zaštite

Da bi se spojni vod rasteretio za vrijeme normalnog pogona upotrebljavaju se releji prema principu prikazanom na slici 20. Strujni transformatori na početku i na kraju voda spojeni su opoziciji, ali je na svaki priključen jednak otpor R. Padovi napona na otpornicima u normalnom pogonu i kod vanjskih kratkih spojeva su jednaki, tako da su tačke A i B na istom potencijalu i kroz spojni vod ne teče struja. Prema tome spojni vod može da bude izведен sa znatno manjim presjekom tako da se može koristiti i običan telefonski vod. U slučaju kvara na vodu padovi napona su suprotno usmjereni da se između tačaka A i B pojavljuje razlika potencijala koja protjera struju kroz relej.



Slika 20. Rasterećenje voda

Da bi se spriječilo nepotrebno djelovanje zaštite zbog lažnih diferencijalnih struja upotrebljavaju se i kod ovako izvedenih zaštita različiti oblici stabilizacije releja. Uzdužna diferencijalna zaštita ima u odnosu na ostale zaštite uređaje sljedećih prednosti:

Obezbeđuju selektivno djelovanje zaštite bez potrebe prilagođavanja i stepenovanja sa susjednim zaštitnim uređajima. Zbog toga nije potrebno vremensko zatezanje djelovanja zaštite, što omogućava momentalno djelovanje zaštite. Podešenje zaštite ne ovisi o konfiguraciji ili uklopnom stanju mreže. Zaštita se obično podešava na struju veću od nominalne. Ako je potrebno može se podesiti i na manju struju. Zaštita je jednostavna i sigurna u pogonu. Glavni nedostatak zaštite je potreba pomoćnih vodova koji povezuju releje na oba kraja štićenog dalekovoda. Kvarovi na spojnim vodovima mogu imati za posljedicu zatajenje ili nepotrebno djelovanje zaštite. Kod dužih vodova troškovi za polaganje pomoćnih vodova su znatni, tako da je cijena zaštite visoka. Zbog nabrojanih nedostataka diferencijalna uzdužna zaštita upotrebljava se za vodove 110 kV i više čija dužina ne prelazi desetak kilometara.

5. ZAŠTITA ELEKTROMOTORA

5.1. Kvarovi nenormalna stanja u pogonu elektromotora

Izolacija visokonaponskih i niskonaponskih elektromotora izložena je u pogonu najraznovrsnijim mehaničkim, termičkim, hemijskim i električnim naprezanjima. Proboji izolacije imaju za posljedicu: višepolne kratke spojeve u statorskom namotaju, zemljospojeve statorskog namotaja. Osim kvarova motori su podvrgnuti i pogonskim stanjima koja bi dovela do proboga ili pregaranja, ako se ne bi pravovremeno eliminirala. Opasne pogonske struje su:

- Preopterećenje rotora zbog preopterećenja gornjeg stroja, vrlo teških uslova upuštanja rotora, preniskog napona mreže na koju je rotor priključen, prekida jednu fazu motora ili mreže, zbog dodatnog kočenja rotora kod kvara na gonjenom stroju ili ležaja motora. U preopterećenje se može svrstati i prevelika učestalost uključivanja i isključivanja motora namjenjenih za kratkotrajni ili intermitirajući pogon. Kao posljedica svih ovih preopterećenja javlja se nedozvoljeno zagrijavanje namotaja motora.
- Nestanak i ponovni povratak napona mogli bi imati teške posljedice za gonjeni stroj, ukoliko bi se motori kod nestanka napona zaustavili a kod ponovne pojave napona sami ponovo krenuli. Kod motora sa teškim uslovima za upuštanje i uređajima za upuštanje moglo bi doći do neuspješnog upuštanja ili nedozvoljeno visokih udaraca u mreži.
- Inverzni redoslijed faza može se pojaviti kod rekonstrukcije postrojenja, priključka novih postrojenja ili radova u mreži. Posljedica je promjena smijera okretanja motora, što u nekim pogonima može izazvati velike štete, kao na primjer lomljenje mehanizama pogonjenih strojeva, obrnut rad transformatora, obrnut smjer strujanja plinova kod ventilatora, neispravan rad pumpi.
- Rad motora na dvije faze u slučaju pregaranja osigurača u jednoj fazi. Posebna zaštita se rjeđe primjenjuje, jer ovakav rad ima za posljedicu preopterećenje motora.

5.2. Zaštita od kratkih spojeva

L_0 kratkog spoja u namotajima motora može doći zbog prenapona i proboga izolacije, zbog proboga oštećene ili ostarjele izolacije ili zbog izgaranja izolacije uslijed neodgovarajuće zaštite od preopterećenja. Nepovoljni vanjski utjecaji mogu dovesti do proboga na primjer prodiranje vode u namotaj motora, agresivna atmosfera i neadekvatna zaštita.

Kod niskonaponskih motora najrasprostranjenija zaštita od velikih struja kratkog spoja su osigurači. Prednost im je da pregaraju vrlo brzo i na taj način ograničavaju negativan utjecaj velike struje na mjestu kvara. Kod izbora osigurača treba voditi računa o strujama uklapanja motora. Kod trofaznih kaveznih motora s direktnim uklapanjem struje uklapanja su reda 3,5 do 7 I_n , kod uklapanja s preklopkom zvijezda – trokut one iznose 1,3

do $2,6 I_n$. Zbog toga se neminalne struje patrona osigurača moraju odabratи veće od nominalnih struja motora, da ne bi došlo do pregaranja uloška kod zaleta motora. Kod manjih motora odabiru se minimalne struje osigurača reda $2 I_n$ kod tromih a do $3 I_n$ kod brzih uložaka. Kod srednjih snaga i tromih uložakataj omjer je oko 1,5, a kod još većih (reda 100 kW) kreće se oko 1,3. Proizvođači motora u svojim katalozima redovito daju i minimalne nazivne struje osigurača za različite tipove motora, i različite uslove upuštanja.

Pored osigurača motori se uspješno štite s elektromagnetskim sklopkama koje djeluju trenutno kad se pojavi struja veća od podešene. Oni su povoljniji za zaštitu motora jer djeluju tropolno, tako da se ne može desiti da motor ostane na dvije faze kod pregaranja jednog osigurača. Nakon djelovanja ovakva zaštitna sklopka može se ponovo uključiti, dok je kod osigurača potrebna zamjena uloška.

Kod manjih motora elektromagnetski okidači nalaze se direktno u primarnom strujnom krugu, dok se kod velikih motora priključuju preko strujnih transformatora. Mogu biti izvedeni i kao sekundarni prekostrujni releji.

Kod vrlo velikih visokonaponskih asinhronih i sinhronih motora može se kao zaštita od kratkih spojeva primjeniti diferencijalna zaštita, slično kao kod generatora.

5.3. Zaštita od zemljospojeva statorskog namotaja

U niskonaponskim postrijenjima zvjezdasti transformatora je uzemljeno direktno i u većini slučajeva primjenjeno je nulovanje ili zaštitno uzemljenje kao mjera od velikih napona dodira. U tome slučaju svaki zemljospoj predstavlja jednopolni kratki spoj kod kojeg djeluje osigurač ili zaštitna sklopka. U slučaju opasnosti od dodirnih napona primjenjuju se dodatni osjetljivi zemljospojni releji koji trenutno isključuju motornu sklopku ako napon kućišta prema zemlji poraste iznad dozvoljene vrijednosti.

Kod velikih visokonaponskih motora, priključenih na mrežu 3,6 ili 10 kV sa izoliranim zvjezdistem, primjenjuju se zaštite koje djeluju na istim principima kao i statorske zaštite generatora, koristeći kao kriterij za djelovanje pojavu struje i napona nulte komponente.

5.4. Zaštita motora od preopterećenja

Do preopterećenja motora dolazi kada protumoment pogonjenog stroja postane veći od nominalnog razvijenog momenta motora. Takvi slučajevi mogu da nastupe dosta često. Na primjer kod većih opterećenja dizalica, veće visine ili količine vode koju treba da savlada pogonjena pumpa, jačeg forsiranja mašina radilica. Smanjenje pauze mirovanja ili povećanje vremenskog perioda opterećenja motora predviđenih za kratkotrajni pogon ima iste posljedice.

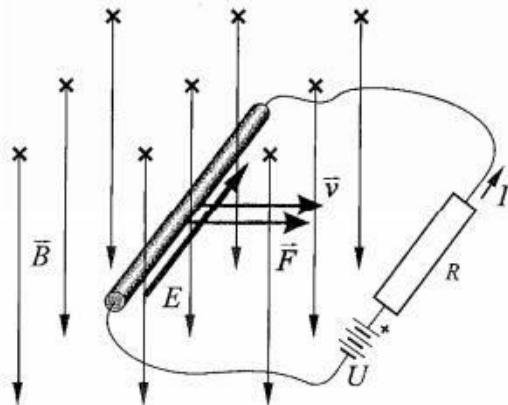
Nizak napon mreže koja napaja motorni pogon takođe može dovesti do preopterećenja, jer motori kod istog momenta zahtijevaju veću struju iz mreže. Nizak napon može biti posljedica niskog napona u mreži višeg napona ili slabo dimenzionisane instalacije. Teški

uslovi upuštanja motora mogu dovesti do preopterećenja. Kod kvarova na uređajima za upuštanje motora može se desiti da se proces upuštanja ne dovede do kraja.

5.5. Princip rada elektromotora

Rad elektromotora temelji se na tri fizikalne pojave u elektrotehnici a to su: elektromagnetska indukcija, djelovanje sile na vodič protjecan strujom, koji se nalazi u magnetskom polju, zakonu protjecanja. Prve dvije pojave su ključne u pretvorbi mehaničke i električne energije, treći zakon povezuje struju i magnetske veličine. Za pretvorbu električne energije u mehaničku potrebno je:

- Magnetsko polje indukcije B ,
- Vodič dužine l u magnetskom polju,
- Rezultantno gibanje vodiča prema magnetskom polju brzinom v ,
- Priklučak vodiča za dovod električne energije,
- Mehanički prijenos sile sa statičkog dijela na pomični i obrnuto.



Slika 21. Prikaz pretvorbe električne energije u mehaničku

Prikaz pretvorbe energije i nastajanja sile na vodič u magnetskom polju prikazan je na slici 21. Na vodič dužine l kojim teče struja I i napon U , u magnetskom polju indukcije B , koje okomito djeluje na vodič, djelovat će sila okomita i na vodič i na magnetsko polje (pravilo lijeve ruke).

$$F = B \cdot I \cdot l \quad (13)$$

Kakao sila uzrokuje gibanje vodiča, on će se gibati u smjeru djelovanja sile. Sila opterećenja (sila tereta) suprostavlja se sili koja uzrokuje gibanje $F_t = F$. Zbog gibanja u vodiču se inducira elektromotorna sila.

$$E = B \cdot l \cdot v \quad (14)$$

Sa smjerom djelovanja suprotnim smjeru struje i priključenog napona. Smjer inducirane struje određen je Lenzovim zakonom, prema kojem inducirana struja ima uvijek takav smjer da svojim magnetskim poljem nastoji spriječiti promjene koje ju izazivaju.

Inducirani napon je protunapon, koji drži ravnotežu priključenom naponu izvora. Kako su smjerovi struje i inducirani napona suprotni, električni rad je:

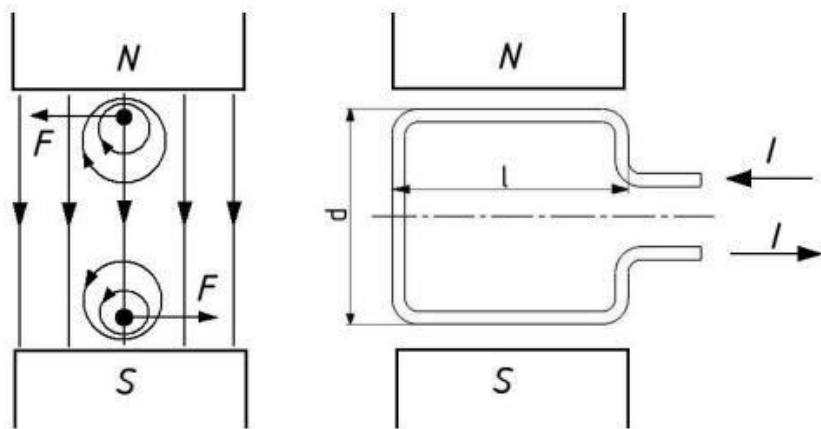
$$W_{el} = -E \cdot I \cdot t = -B \cdot l \cdot v \cdot I \cdot t \quad (15)$$

Nasuprot tome dobiveni mehanički rad je pozitivan (sila F djeluje u smjeru gibanja) i iznosi:

$$W_m = F \cdot v \cdot t = B \cdot I \cdot l \cdot v \cdot t \quad (16)$$

Da bi elektromotor obavio mehanički rad svladavanjem momenta tereta, mora se iz izvora uzimati razmjerna električna energija. Utrošeni električni rad W_{el} pretvara se u mehanički rad W_m .

$$W_{el} + W_m = 0 \quad (17)$$



Slika 22. Zakretanje petlje uslijed djelovanja magnetskog polja

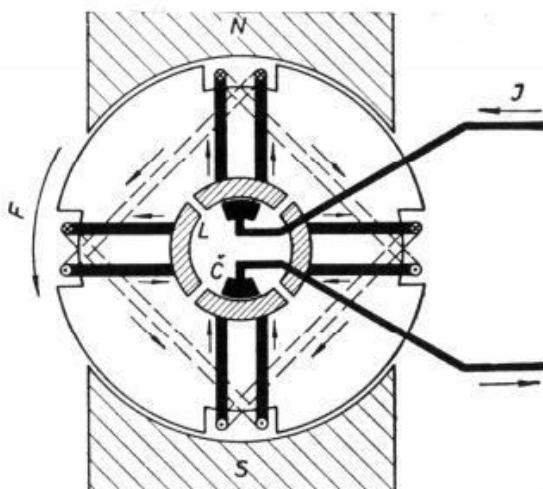
Ako se u magnetskom polju indukcije B nalazi vodič oblikovan u petlju koji se može okretati oko svoje ose, smjer okretanja pojašnjava slika 22. Kada kroz petlju prolazi struja oko nje se stvara magnetsko polje, čije silnice obuhvaćaju vodič prema pravilu desne ruke. To magnetsko polje na gornjem dijelu slabiti, a na donjem pojačava osnovno magnetsko polje statora, koje stvaraju trajni magneti. Budući da magnetsko polje uvijek nastoji istisnuti vodič iz jačeg u slabije polje, na petlju će djelovati dvije paralelne i iznosom jednake sile F suprotnog smjera. Takve dvije sile stvaraju moment M koji djeluje na udaljenosti r od središta okretanja:

$$M = 2 \cdot F \cdot r = F \cdot d \quad (18)$$

Obodna brzina v može se izraziti kutom brzinom ω pomoću $v = \omega \cdot r$, pa se sila koja djeluje u vremenu t pretvora se u energiju:

$$W = F \cdot v \cdot t = F \cdot r \cdot \omega \cdot t = M \cdot \omega \cdot t \quad (19)$$

Da bi se dobilo trajno djelovanje zakretnog momenta, elektromotori imaju raspoređene vodiče po cijelom obodu rotora, a pomoću posebnog uređaja, komutatora, mijenja se smjer struje prema vodičima, tako da magnetsko polje zakreće rotor uvijek u istom smjeru. Slika 23. prikazuje pravilan raspored petlji na rotoru. Četkice dovode istosmjernu struju uvijek na onu lamelu komutatora koja je u gornjem položaju, a odvode struju iz zavojnice preko donje lamele. Prema tome zakretni moment uvijek jednako djeluje na rotor.



Slika 23. Raspored petlji na rotoru sa kliznim četkama i lamelama

5.6. Podjela elektromotora

Prema vrsti struje koja se koristi za njihovo pokretanje elektromotori se dijele na istosmjerne i izmjenične.

Elektromotori istosmjerne struje:

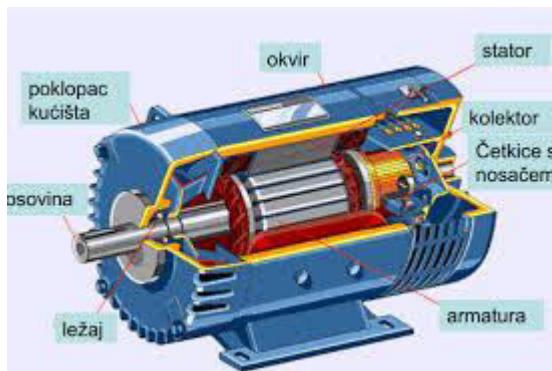
- Serijski elektromotori,
- Paralelni elektromotori i
- Kompaundni elektromotori.

Elektromotori izmjenične struje:

- Jednofazni elektromotori,
- Trofazni elektromotori,
- Sinhroni elektromotori,
- Asinhroni elektromotori,
- Klizno – Kolutni elektromotori i
- Kavezni elektromotori.

5.6.1. Elektromotori istosmjerne struje

Istosmjerni elektromotori imaju gotovo idealne vanjske karakteristike motora koji povezuje brzinu vrtnje i razvijeni moment, mogućnost jednostavnog dobivanja promjenljivog istosmjernog napona napajanja, jednostavni su u upravljačko-regulacijskom smislu te imaju široki opseg upravljivosti brzinom vrtnje. Nedostaci elektromotora istosmjerne struje su: mehanički komutator (izmjenjivač/ispravljač) koji ograničava snagu i brzinu motora, povećana zamašna masa (moment inercije), zahtjeva češće periodičko održavanje i široki opseg upravljivosti brzinom vrtnje.



Slika 24. Prikaz istosmijernog motora⁵

5.6.2. Princip rada istosmijernog elektromotora

Rad istosmijernog motora zasniva se na stvaranju elektromagnetske sile na vodič koji se nalazi u magnetskom polju. Smijer sile određuje se pravilom desne ruke koje glasi: ako postavimo desni dlan tako da u njega ulaze silnice magnetskog polja, i da ispruženi prsti pokazuju smijer toga struje kroz vodič, onda ispruženi palac pokazuje smijer djelovanja sile. Jačina sile ovisi o magnetskoj indukciji, dužini vodiča u magnetnom polju i jačini struje kroz vodič. Za rad istosmijernog motora potrebno je ispuniti dva uvjeta. Prvi je da treba stvoriti magnetsko polje u motoru, a drugi je da treba imati struju u rotorskim vodičima. Magnetno polje stvara se napajanjem statorskog namota, a struje na rotor se napaja preko četkica i kolektora. Statiski namot napaja se istosmijernom strujom koja stvara stalno magnetsko polje. Silnice polja iz sjevernog pola izlaze u rotor i ponovo se na stator vraćaju na južnom polu. U rotorske vodiče struje dolaze preko kolektora i četkica i to tako da vodiči pod sjevernim polom imaju struju jednog, a vodiči pod južnim polom suprotnog smjera. U vodičima rotora nastaje elektromagnetska sila koja ih nastoji izbaciti iz magnetskog polja. Budući da je rotor na osovini dolazi do zakretanja rotora. Na mjesto izbačenih vodiča dolaze novi i postupak se neprestano ponavlja. Motor počinje ubrzavati sve dok se elektromagnetska sila i sila otpora (tereta) na izjednače. Motor se tada okreće stalnom brzinom.

⁵ <https://repozitorij.unizd.hr/islandora/object/unizd%3A97/datastream/PDF/view>

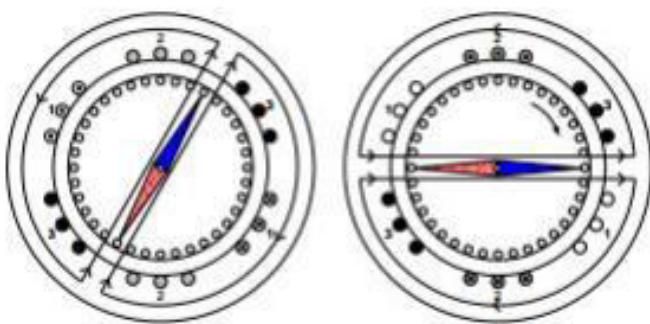
5.6.3. Elektromotori izmjenične struje

Elektromotor izmjenične struje (tzv. izmjenični motor) može biti asinhroni i sinhroni. Izmjenični asinhroni ili induksijski motor, koji se napaja iz mreže izmjeničnog trofaznog ili jednofaznog napona, najviše se koristi u industrijskim postrojenjima. U asinhronom motoru okretno se magnetsko polje stvara prolaskom trofazne struje kroz trofazne namote smještene na statoru. Ono se može stvoriti i priključkom motora na jednofaznu mrežu, ako se dva fazna namota prostorno pomaknu za prikladan ugao i ako se u jedan namot doda kondenzator, kojim se ostvari fazni pomak među strujama kojima se napajaju ta dva namota (kondenzatorski motor).

Nastalo okretno statorsko magnetsko polje inducira u rotorskim vodičima napone i struje koje stvaraju svoje okretno magnetsko polje. Međudjelovanjem ta dva polja stvaraju se elektromagnetske sile i zakretni momenti uzrokuju vrtnju rotora. Te sile i momenti postoje samo dotle dok silnice okretnoga polja sijeku vodiče rotora, a nestale bi onoga momenta kada bi se brzine rotora i okretnoga polja izjednačile (sinhrona brzina), to jest kada bi nestalo relativnog gibanja vodiča rotora prema okretnom polju, pa prema tome i induciranih napona i struja u rotorskim vodičima. Za ispravan rad takvih motora nužno je da brzina vrtnje rotora bude neznatno manja od sinhronne brzine (tzv. klizanje rotora), zbog toga se naziva asinhroni motor.

5.6.4. Princip rada asinhronog elektromotora

Princip rada asinhronog motora zasniva se na okretnom magnetskom polju. Uvjet za dobijanje okretnog magnetskog polja je da postoje barem dva prostorno pomaknuta namota kroz koje teku vremenski (fazno) pomaknute struje. Trofazni asinhroni motor ima tri prostorno pomaknuta namota (faze) koji se priključuju na trofazni sistem napona koji potjera tri fazno pomaknute struje. Uzmimo na primjer trenutak u kojem je faza 1 najjača i trenutak kada je najjača faza 2. Između ta dva trenutka se vektor okretnog magnetskog polja (prikazan na slici kazaljkom kompasa koja nije dio motora) pomaknuo za 30° što znači da se polje okreće.



Slika 25. Vektor okretnog magnetskog polja⁶

⁶ <https://repozitorij.unizd.hr/islandora/object/unizd%3A97/datastream/PDF/view>

U stvarnosti u svakom trenutku sva tri namotaja zajednički stvaraju magnetsko polje koje je uvijek istog intenziteta ali neprestano mijenja smjer pa ga nazivamo okretnim magnetskim poljem. Okretno magnetsko polje se vrti sinkronom brzinom n_s koja je proporcionalna frekvenciji f a obrnuto proporcionalna broju pari polova p statorskog namota:

$$n_s = \frac{60f}{p} \quad (20)$$

Kod uključivanja motora na napon rotor stoji. Silnice okretnog magnetskog polja presijecaju vodiče rotora u kojima se zbog toga inducira napon, koji kroz njih obzirom da su kratko spojeni (kavezni rotor) potjera struju. Kako na vodiče (rotora) kroz koje teče struja a nalaze se u magnetskom polju (statora) djeluje sila, javlja se moment koji počinje ubrzavati rotor. Asinhroni motor se ne može okretati sinhronom brzinom jer bi se kod sinkrone brzine rotorski vodići i silnice okretnog magnetskog polja okretali istom brzinom odnosno jedno naspram drugoga mirovali. Drugim riječima ne bi bilo presijecanja vodiča rotora od strane silnica okretnog magnetskog polja statora, pa ni induciranih napona, kao ni struje na rotoru, a prema tome ni elektromagnetske sile. Relativna razlika između brzine rotora i brzine okretnog magnetskog polja (sinhrone brzine) izraženo u postotku naziva se klizanje (s):

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (21)$$

Klizanje dakle pokazuje relativno zaostajanje rotora za statorskim okretnim magnetskim poljem. Kod nazivnog opterećenja iznosi 3-5%. Što je motor opterećeniji radi s većim klizanjem. Klizanje u praznom hodu (kad na osovini motora nema priključenog mehaničkog tereta) je vrlo malo. Što su motori veći (snažniji) to je nazivno klizanje manje. Smjer vrtnje asinhronog motora se može promijeniti tako da se pri priključku statorskih namota zamijeni redoslijed faza (u priključnoj kutiji zamijene se bilo koja dva vodiča priključnog kabela ne računajući naravno uzemljenje). Rotor asinhronog motora koji može biti kavezni ili kolutni. Namot kavezognog motora je najčešće izliven direktno u utor rotorskog paketa dinamo-limova i ima oblik vodeničkog kola (niz štapova povezanih na krajevima s dva kratkospojna prstena). Namot kolutnog rotora je klasičnog tipa s izolacijom, spojen u zvijezdu čiji slobodni krajevi završavaju na kliznim kolutima.

5.6.5 Sinhroni elektromotori

Na statoru sinhronog elektromotora je u većini slučajeva smješten armaturni namot (najčešće trofazni) koji je simetrično raspoređen u utorima po obodu stroja. Naziv armaturni označava dio stroja u kojem se pod utjecajem promjene magnetskog toka inducira napon. Uzbudni namot je smješten na rotoru, na posebno oblikovanim istaknutim polovima, kod izvedbe za manje brzine, ili u utorima cilindričnog rotora za izvedbe strojeva visokih brzina. Pobudnim namotom teče istosmjerna struja i stvara uzbudno protjecanje, odnosno magnetski tok. Moguće su i izvedbe sinhronih elektromotora bez uzbudnog namota. Sinhroni elektromotori se rijetko izvode s pobudom na statoru, a

armaturom na rotoru. Magnetsko polje koje stvara uzbuda na rotoru vrti se uslijed mehaničke vrtnje rotora. U vodičima statorskog namota inducira se elektromotorna sila, i kad je stroj opterećen poteku struje. Struje u statoskom namotu stvore okretno protjecanje koje se vrti jednakom brzinom kao i rotor, dakle sinhrono s rotorom. Po tome je ova vrsta elektromotora i nazvana sinhroni elektromotor.

ZAKLJUČAK

Kroz rad je objašnjen pojam relejne zaštite, te principi rada istih zaštita opisane su zaštite elektromotora vrste istih te principi rada.

Relejna zaštita predstavlja složeni sistem, sastavljen od strujnih i naponskih transformatora, sekundarnih krugova ožičenja između sekundara strujnih i naponskih transformatora i zaštitnih uređaja, samih uređaja relejne zaštite te prekidača koji prekidaju strujni krug u kvaru (prema nalogu releja). Ovaj složeni sistem treba kontinuirano pravilno funkcionisati da bi osigurao nesmetan i kontinuiran rad elektroenergetskog sistema u cjelini te isporuku električne energije od proizvođača, preko prijenosnog i distribucijskog sistema do krajnjeg potrošača.

Elektromotorni pogon je izložen raznim poremečajima u kojima može doći do opasnosti za ljude, do oštećenja dijelova pogona ili se električna mreža kao izvor energije izlaže povećanim opterećenjima. Pored ispravnog izbora elektromotora za konkretnе potrebe pogona, mora postojati i odgovarajuća izvedba njegove zaštite, te se mora provoditi redovita kontrola i održavanje pogona.

Visokonaponski elektromotori se u praksi primjenjuju gdje radni mehanizam zatjeva veću električnu snagu obično 200 kW do nekoliko Megavata. To se radi iz razloga što bi niskonaponski elektromotori za iste snage bili velikih gabarita kao i prateća oprema i napojni kablovi.

Visokonaponski elektromotori u industriji najčešće pogone pumpe, kompresore, mlinove, drobilice ventilatore i drugo. Zbog toga je vrlo bitan odabir i podešavanje parametara tehničkih zaštita, da ne dođe do zastoja, većih kvarova ili pregorjevanja, jer svaki zastoj takvih uređaja predstavlja veliki tehnološki zastoj i gubitak gotovih proizvoda.

LITERATURA

Knjige:

1. B. Žarko i F. Božuta, dipl.ing.el., *Relejna zaštita*, ETF, Sarajevo, 1966.
2. S. Nikolovski, *Zaštita u elektroenergetskom sustavu*, ETF, Osijek, 2007
3. F. Božuta, *Relejna zaštita elektroenergetskih sistema*, ETF, Sarajevo 1974

Internet izvori:

1. <https://energetikaelektrro.files.wordpress.com/2015/04/szu2014-01.pdf> (datum pristupa: 23.06.2019)
2. <https://www.scribd.com/doc/208621773/Relejna-Zastita-Zastita-Transformatora> (datum pristupa: 20.06.2019)
3. <https://repozitorij.unizd.hr/islandora/object/unizd%3A97/datastream/PDF/view> (datum pristupa: 02.07.2019)
4. https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1382364223-0-pogonskistrojevizabps_empogoni.pdf (datum pristupa 02.07.2019)

POPIS SLIKA

1. Slika 1. Selektivno djelovanje zaštite, str. 8
2. Slika 2. Primarni okidač, str. 12
3. Slika 3. Diferencijalni relej, str. 14
4. Slika 4. Naponski relej, str. 16
5. Slika 5. Napom u dvostrano napajanoj mreži kod metalnog kratkog spoja u tački K, str. 18
6. Slika 6. Vremenska karakteristika, str. 20
7. Slika 7. Frekventni relej, str. 21
8. Slika 8. Relej s mehaničkom rezonancijom, str. 22
9. Slika 9. Spoj paralelne kombinacije R, L i C, str. 23
10. Slika 10. Spoj međutransformatora i priključak diferencijalnog releja, str. 25
11. Slika 11. Princip djelovanja Buchholzove zaštite, str. 27
12. Slika 12. Momentalna prekostrujna zaštita, str. 29
13. Slika 13. Štičenje radikalne mreže napajane s jedne strane, str. 32
14. Slika 14. Vremenska karakteristika djelovanja, str. 33
15. Slika 15. Jednopolna shema priključka distantne zaštite visokonaponskog voda, str. 34
16. Slika 16. Grafička ilustracija zaštitnih zona distantne zaštite, str. 35
17. Slika 17. Primjer vremenske karakteristike distantne zaštite, str. 36
18. Slika 18. Grafička ilustracija koordiniranja vremenskih karakteristika više diferencijalnih releja, str. 37
19. Slika 19. Princip djelovanja uzdužne zaštite, str. 38
20. Slika 20. Rasterećenje voda, str. 39
21. Slika 21. Prikaz pretvorbe električne energije u mehaničku, str. 42.
22. Slika 22. Zakretanje petlje uslijed djelovanja magnetskog polja, str. 43.
23. Slika 23. Raspored petlji na rotoru sa kliznim četkama i lamelama, str. 44.
24. Slika 24. Prikaz istosmijernog motora, str. 45.
25. Slika 25. Vektor okretnog magnetskog polja, str. 46.